

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLA CRISTINA BEM

**DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO RASO:
ESTUDO DE CASO DO LAGO BARIGUI – CURITIBA**

**CURITIBA
2009**

CARLA CRISTINA BEM

**DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO RASO:
ESTUDO DE CASO DO LAGO BARIGUI – CURITIBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Área de Concentração em Engenharia Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador (a): Maria Cristina Borba Braga,
PhD
Co-orientador: Dr. Júlio César Rodrigues de
Azevedo

CURITIBA
2009



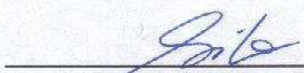
TERMO DE APROVAÇÃO


Carla Cristina Bem

“DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO RASO: ESTUDO DE CASO DO LAGO BARIGUI-CURITIBA”

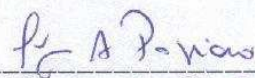
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

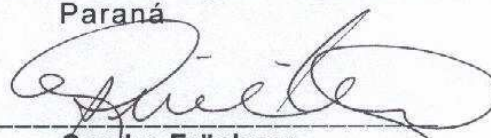
PRESIDENTE:

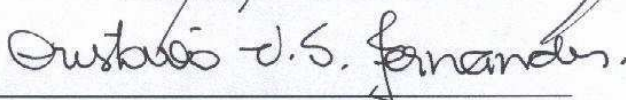

Maria Cristina Borba Braga
Universidade Federal do Paraná
Orientadora


Júlio César Rodrigues de Azevedo
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Coorientador

MEMBROS:


Thomaz Aurélio Pagioro
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná


Sandro Fröhner
Universidade Federal do Paraná


Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes
Universidade Federal do Paraná



Curitiba, 06 de maio de 2009

DEDICATÓRIA

A meus pais, João Carlos e Marlise e irmãos, Angela e Eduardo, sem o apoio e confiança que depositaram em mim, não chegaria até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, bênção e proteção.

À CAPES pela bolsa de estudos oferecida para esta pesquisa.

A minha orientadora, Maria Cristina B. Braga, e co-orientador, Júlio César R. de Azevedo, pela amizade, paciência, orientação e confiança em meu trabalho.

À Maria Cristina e ao Prof. Sanquetta, do Laboratório de Inventário Florestal da UFPR, pela simpatia e pelas análises de carbono no sedimento.

Ao Prof. Marco Tadeu Grassi, do Laboratório de Engenharia Química da UFPR, pela atenção nas análises de fluorescência.

À Profa. Thelma Veiga Ludwig do Departamento de Botânica, pelo auxílio na implantação de métodos analíticos utilizados nesta dissertação.

À SUDERHSA, pelo fornecimento de dados de precipitação pluviométrica.

Ao Prof. Cristóvão S. Fernandes e Prof. Sérgio M. Braga, que além de colaborarem de forma direta nesta pesquisa, foram essenciais para que mantivesse equilíbrio e o ânimo até sua conclusão, emprestando ouvidos, dando conselhos e sorrisos.

À Luiz Carlos Barbosa pela ajuda nas coletas de amostras e conselhos.

À todos que ajudaram nas coletas, Vanessa, Patrícia, Luiz e Heloise; nas análises no laboratório, Vanessa, Heloíse e Luiz; tirando dúvidas, Maria Carolina; ou companhia nos estudos.

À todos os amigos que com muita alegria digo que fiz durante estes dois anos e sei que irão permanecer: Heloise, Clarissa, Luiz, Tatiana, Maria Carolina, Natália, Mônica e Arthur.

À minha família.

À todos que de alguma forma participaram deste trabalho.

Se podes olhar, vê. Se podes ver, repara.
(José Saramago, em *Ensaio sobre a cegueira*)

RESUMO

Como decorrência do aporte de contaminação por fontes pontuais e difusas, os recursos hídricos tem sofrido impactos significativos em relação à qualidade das suas águas. Um destes impactos é a eutrofização, fenômeno observado principalmente em ambientes lênticos, que ocorre devido à carga excessiva de nutrientes, fósforo e nitrogênio, que contribuem para o desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas em níveis acima do crescimento natural. Esta pesquisa estudou a dinâmica do processo de eutrofização em um lago raso urbano que foi construído com o objetivo de drenagem superficial, tendo sido utilizado o lago do rio Barigui como estudo de caso. Para identificar o estado de trofia do lago, foi utilizado o Índice do Estado Trófico (IET). Também foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos na coluna d'água e no sedimento, o que foi de fundamental importância para a compreensão da dinâmica deste processo. As análises na coluna d'água permitiram observar que há elevada disponibilidade de nutrientes no sistema, principalmente de fósforo, devendo ser salientado que a sua concentração total, em todas as amostras, esteve acima do especificado pela legislação. A relação nitrogênio total/fósforo total permitiu identificar que o nitrogênio é o fator limitante no lago Barigui. As análises de clorofila-a possibilitaram estimar a biomassa fitoplanctônica e o nível trófico, sendo que as concentrações variaram em cada ponto e campanha, caracterizando o sistema de oligotrófico (0,14 µg/L, P1, primeira campanha) a eutrófico (34,79 µg/L, P2B, terceira campanha). Também foi observado que o período de produção primária no lago Barigui, ocorre entre os meses de maio e novembro, enquanto o de decomposição, entre dezembro e abril. A aplicação do IET(PT) classificou o sistema em categorias que variaram de supereutrófico a hipereutrófico enquanto o IET(CLa) variou de ultraoligotrófico a supereutrófico.

Palavras-chave: Eutrofização. Fósforo. Nitrogênio. Clorofila-a. IET. Lago Barigui.

ABSTRACT

Water resources have been impacted as a consequence of point and diffusive sources of contamination. One of these impacts is eutrophication, a phenomenon observed mainly in lakes, which is a result of nutrient input, nitrogen and phosphorus. These elements contribute to the development of phytoplankton to levels beyond natural growth. This research studied the dynamics of the eutrophication process in a shallow urban lake with Barigui Lake being taken a case study. In order to characterize the eutrophication process in this lake the State Trophic Index (STI) was used. Besides the STI it was also determined the concentration of physico-chemical parameters in the water column and the sediment. The analyses of such parameters were of fundamental importance to understand the dynamics of the eutrophication process. The results of the analyses produced for the water column allowed to observe that there is a high nutrient availability, especially phosphorus, and it has to be mentioned that its total concentration, in all samples, were above legal specification. Total nitrogen to total phosphorus ratio allowed to identify that nitrogen is the limiting factor to Barigui Lake. Results of the analyses of chlorophyll-*a* allowed to characterise the system as oligotrophic (0,14 µg/L, P1, first sampling campaign) to eutrophic (34,79 µg/L, P2B, third sampling campaign). It was also observed that the period of primary production in the Barigui Lake occurs between May and November, whereas decomposition between December and April. The application of STI-TP the system as supereutrophic to hipereutrophic, whereas STI-Cha characterized as ultraoligotrophic to supereutrophic.

Keywords: Eutrophication. Fosforus. Nitrogen. Chlorofyl-*a*. STI. Barigui Lake.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FORMAS DE FÓSFORO	17
FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FORMAS DE NITROGÊNIO	22
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SOB OS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICO, BACTERIOLÓGICO E ECOTOXICOLÓGICOS	34
FIGURA 3.1 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA BACIA DO RIO BARIGUI E LAGO	44
FIGURA 3.2 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE COLETA	46
FIGURA 4.1 – FORMAS DE FÓSFORO NO P1	52
FIGURA 4.2 – FORMAS DE FÓSFORO NO P2A.....	53
FIGURA 4.3 – FORMAS DE FÓSFORO NO P2B.....	54
FIGURA 4.4 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P1	55
FIGURA 4.5 – CARTA DA SITUAÇÃO (REGULAR E IRREGULAR) DAS LIGAÇÕES DE ESGOTO DOS LOTES DO ENTORNO DE 200 METROS DO PARQUE BARIGÜI	56
FIGURA 4.6 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P2A.....	57
FIGURA 4.7 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P2B.....	58
FIGURA 4.8 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA- <i>a</i> NOS PONTOS DE COLETA.....	59
FIGURA 4.9 – PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE CLa NO P2B	60
FIGURA 4.10 – PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE CLa NO P2A	61
FIGURA 4.11 – PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE CLa NO P1	61

FIGURA 4.12 – ESPECTROS DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO ULTRAVIOLETA VISÍVEL DO LAGO BARIGUI.....	66
FIGURA 4.13 – ESPECTROS DE ABSORTIVIDADE DO LAGO BARIGUI.....	67
FIGURA 4.14 – ESPECTROS DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA PARA SETE AMOSTRAS E COLETAS, COM EXCITAÇÃO EM 370 nm.....	69
FIGURA 4.15 – ESPECTROS SINCRONIZADOS DE FLUORESCÊNCIA.....	71
FIGURA 4.16 – ESPECTRO SINCRONIZADO NORMALIZADO PELO COD ($\Delta=18$ nm).....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – CONTRIBUIÇÕES UNITÁRIAS DE FÓSFORO TÍPICAS	16
TABELA 2.2 – CONCENTRAÇÃO DE P-TOTAL EM RELAÇÃO AO ESTADO TRÓFICO DE LAGOS.....	18
TABELA 2.3 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/05	18
TABELA 2.4 – CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS SEGUNDO AS DIFERENTES FORMAS NITROGENADAS (mg/L).....	22
TABELA 2.5 – CONCENTRAÇÕES DAS FORMAS NITROGENADAS SEGUNDO RESOLUÇÃO CONAMA 357/05	23
TABELA 2.6 – CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES ESTADOS TRÓFICOS EM LAGOS VALORES DA OECD PARA CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS.....	25
TABELA 2.7 – VALORES DA OECD PARA CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS	26
TABELA 2.8 – CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	32
TABELA 2.9 – CURVA DE NORMALIZAÇÃO PARA AMÔNIA TOTAL E OXIGÊNIO DISSOLVIDO COM OS RESPECTIVOS FATORES DE NORMALIZAÇÃO E ESTADOS DE QUALIDADE	33
TABELA 2.10 – MATRIZ DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	36
TABELA 2.11– VARIÁVEIS SELECIONADAS E RESPECTIVOS PESOS.....	37
TABELA 2.12 – CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO	40
TABELA 3.1 – DATAS DAS CAMPANHAS.....	45
TABELA 3.2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DATAS DAS CAMPANHAS	45
TABELA 3.3 – PARÂMETROS ANALISADOS DURANTE O MONITORAMENTO	47

TABELA 3.4 – CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO SEGUNDO O ÍNDICE E CARLSON MODIFICADO PARA LAGOS E RESERVATÓRIOS.....	51
TABELA 4.1 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P1 BASEADA NO IET	62
TABELA 4.2 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P2A BASEADA NO IET	63
TABELA 4.3 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P2B BASEADA NO IET	63
TABELA 4.4– RELAÇÃO N:P.....	65
TABELA 4.5 – ABSORBÂNCIA UV_{254} (U.A.).....	66
TABELA 4.6 – ABSORTIVIDADE DA $SUVA_{254}$ ($L\ mg^{-1}\ M^{-1}$)	67
TABELA 4.7 – RAZÃO A_{285}/COD g/L	68
TABELA 4.8 – VALORES DO COMPRIMENTO DE ONDA DO PICO MÁXIMO DE EMISSÃO DO ESPECTRO COM EXCITAÇÃO EM 370 nm.....	69
TABELA 4.9 – RAZÃO ENTRE A INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA EMITIDA EM 450 nm E 500 nm, COM EXCITAÇÃO EM 370 nm	70
TABELA 4.10 – CONTEÚDO DE CARBONO NO SEDIMENTO.....	73
TABELA 4.11 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL E INORGÂNICO NO SEDIMENTO	74

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COD	Carbono orgânico dissolvido
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
FDR	Fósforo Dissolvido Reativo
FRS	Fósforo Reativo Solúvel
FR	Razão da intensidade de fluorescência emitida
IAP	Índice de Qualidade de Águas Brutas para fins de abastecimento público
IET	Índice do Estado Trófico
IPMCA	Índice de Variáveis Mínimas para a preservação da vida aquática
IQA	Índice de Qualidade de Águas para proteção da vida aquática
IQA _{PVA}	Índice de Qualidade de Águas
ISTO	Índice de Substâncias tóxicas e organolépticas
IVA	Índice de Preservação da vida aquática
HPAs	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
OD	Oxigênio dissolvido
OECD	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
PW	Comprimento de onda do pico do espectro em 450 nm
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STD	Sólidos totais dissolvidos
SST	Sólidos suspensos totais
SSD	Sólidos suspensos dissolvidos
SSF	Sólidos suspensos fixos
SS	Sólidos sedimentáveis
USEPA	U.S Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 FÓSFORO	16
2.2 NITROGÊNIO	20
2.3 EUTROFIZAÇÃO	23
2.4 ALGAS	28
2.4.1 Clorofila-a	30
2.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1.1 Lago Barigui	43
3.2 METODOLOGIA ADOTADA	45
3.2.1 Monitoramento da Qualidade da Água	45
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	52
4.1 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES E CLOROFILA-a	52
4.2 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	62
4.3 ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO	65
4.3.1 Espectroscopia UV/Vis	65
4.3.2 Fluorescência	68
4.4 SEDIMENTO	73
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	75
CONCLUSÃO	79
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS	82
ANEXOS	88

1 INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos, foi instituída no Brasil pela Lei nº 9433/97, que define a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e a água como recurso finito e bem de uso comum, especificando a necessidade da definição de planos de gestão para a adequação às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país (Brasil, 1997).

Estas diversidades causam impactos em diversos níveis na qualidade da água. Este comprometimento ocorre tanto por fontes difusas como por pontuais, sendo necessário a implementação de medidas de controle do uso do solo e do planejamento da sua ocupação.

Em áreas urbanas, em função da impermeabilização do solo, o escoamento superficial para rios e lagos ocorre muito rapidamente, carreando substâncias orgânicas e inorgânicas, em concentrações variáveis no espaço e no tempo, além dos despejos de águas residuárias domésticas *in natura* ou tratadas e de efluentes industriais de acordo, ou não, com os padrões estipulados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente por meio da Resolução CONAMA nº 357/05 (CONAMA, 2005), podem vir alterar a qualidade da água e/ou a classe do corpo receptor.

Por outro lado, em áreas de ocupação agrícola, o questionamento sobre a poluição dos recursos hídricos é mais complexo, pois nem sempre é possível associar a fonte ao poluidor. Fundamentalmente, este tipo de poluição é ocasionada por eventos hidrológicos importantes, associados às condições de uso e ocupação do solo e, também, às características pedológicas da bacia hidrográfica de observação.

Assim, a poluição de corpos aquáticos resultante de fontes difusas ou pontuais provoca desequilíbrios à fauna, à flora, e aos ciclos biogeoquímicos. Um desses desequilíbrios, principalmente, aqueles que ocorrem em ambientes lânticos, é a eutrofização, sendo o tendo como indutor a concentração excessiva dos nutrientes fósforo e nitrogênio, que implica em alterações na qualidade da água para consumo humano e uso recreacional.

O processo de eutrofização acelerado, conhecido como eutrofização cultural, tem sido observado em reservatórios e lagos, devido ao aumento do uso de fertilizantes nas áreas de bacias hidrográficas, o aumento da população humana e o elevado grau de urbanização das cidades, contribuindo com o aporte de nutrientes,

fósforo e nitrogênio, e matéria orgânica. Ao mesmo tempo, o uso múltiplo da água tem sido intensificado, tornando muito complexo o gerenciamento de represas e de bacias hidrográficas, devido a qualidade requerida para os diversos fins.

O tratamento de fontes pontuais que apresentam elevada concentração de nutrientes é dispendioso, pois envolve tecnologias ambientais avançadas para reduzir significativamente as concentrações presentes. Para condições relacionadas à poluição por fontes pontuais, seria necessária a instalação de componentes de tratamento terciário em estações de tratamento de águas residuárias domésticos ou adequação dos sistemas de tratamento de águas residuárias industriais. Por outro lado, para abordar o problema relacionado por fontes difusas, existe a necessidade da especificação de um plano de uso e ocupação do solo, que minimize perda e carreamento de sedimento e outras substâncias em função do escoamento superficial.

Portanto, o monitoramento da qualidade da água, tanto os de regime lântico como lótico, é importante, pois, além de possibilitar a identificação de alterações na qualidade da água, também possibilita a organização de um banco de dados, em que as séries históricas podem permitir interpretar a evolução temporal da qualidade ambiental e a percepção das correlações com fenômenos climáticos, econômicos e ocupação do solo, entre outros. Deste modo, a definição de medidas coerentes de controle da poluição, fiscalização e auto-monitoramento, além da adequação da legislação existente, relativa à proteção da qualidade da água, aparecem como pontos de fundamental importância.

Umas das formas de avaliar a qualidade das águas superficiais é a utilização de índices. Entre os diversos existentes, pode-se citar o Índice do Estado Trófico – IET, que é baseado na determinação dos parâmetros clorofila-*a*, fósforo total e turbidez com disco de Secchi, para ambientes lânticos, enquanto para lóticos são considerados apenas os dois primeiros parâmetros.

Desta forma, é importante o monitoramento dos corpos aquáticos e, em particular, de ambientes lânticos, que possuem maior fragilidade em relação às ações antrópicas, como é o caso do lago Barigui. Este lago foi adotado como estudo de caso para o desenvolvimento desta pesquisa, devido as particularidades que o envolvem; teve como objetivo de construção o controle de enchentes urbanas e situa-se numa bacia hidrográfica com elevada influência antrópica.

Visando contribuir para conhecimento relacionado à poluição do lago Barigui por nutrientes e com os fatores do processo de eutrofização cultural em um lago urbano raso, esta pesquisa utilizou como ferramentas a determinação das concentrações de fósforo e nitrogênio, identificação do nutriente limitante do processo de eutrofização e a determinação do grau de trofia pela determinação do Índice do Estado Trófico (IET); sendo que os resultados obtidos poderão servir de subsídio à tomada de decisão pelos órgãos ambientais regionais responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

1.1 OBJETIVOS

Geral

O objetivo principal desta pesquisa foi determinar o Índice do Estado Trófico – IET, e estudar a dinâmica do processo de eutrofização em um lago urbano raso, com características de drenagem superficial, tendo sido utilizado o lago do rio Barigui como estudo de caso.

Específicos

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa, as seguintes atividades foram desenvolvidas:

- analisar os parâmetros físico-químicos da água;
- analisar os parâmetros químicos do sedimento superficial;
- determinar os níveis de fósforo total na coluna d'água;
- determinar os níveis de clorofila-a na coluna d'água;
- determinar as concentrações de nitrogênio total na coluna d'água;
- analisar os fatores interdependentes de qualidade da água da bacia do rio Barigui;
- verificar interação entre os parâmetros através de análise estatística de correlação linear por meio da correlação de Pearson.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FÓSFORO

A grande importância do fósforo deve-se à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, entretanto, quando comparado a outros nutrientes, pode ser considerado limitante (Esteves, 1988 , Odum, 1988 , USEPA, 1999), tal fato deve-se á tendência de formar compostos insolúveis associados a argilas e cátions (Ferreira *et al.*, 2005).

O fósforo pode ser introduzido no meio ambiente por fontes naturais ou artificiais, tanto pontuais como difusas. As fontes naturais de fósforo são as rochas e outros depósitos formados em idades geológicas passadas (Odum, 1988). O fosfato liberado pela rocha sob a ação de intemperismo é carregado pelas águas de escoamento superficial e atinge os diferentes ecossistemas aquáticos. Entre as principais fontes artificiais destacam-se as descargas de águas residuárias domésticas (as quais contém compostos fosfatados oriundos de detergentes) e/ou industriais tratadas adequadamente, lixiviamento de áreas agrícolas e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone. Fosfatos orgânicos são formados primariamente por processos biológicos, estando presente em excreções humanas e restos de alimentos, e incluem uma quantidade significativa de fósforo no estado coloidal (Wetzel, 1983).

A Tabela 2.1 apresenta os valores típicos de contribuição unitária de fósforo a partir de áreas de drenagem com características diferentes e águas residuárias domésticas (Sperling, 1996).

TABELA 2.1 – CONTRIBUIÇÕES TÍPICAS UNITÁRIAS DE FÓSFORO

Fonte	Tipo	Valores típicos de P	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e floretas	10	kgP/km ² .ano
	Áreas agrícolas	50	kgP/km ² .ano
	Áreas urbanas	100	kgP/km ² .ano
Esgotos	Domésticos	1,0	kgP/km ² .ano

Fonte: Adaptado de Sperling (1996)

As formas de fósforo presente em águas naturais, são geralmente encontradas na forma iônica ou complexada, como fosfato, por ser a única forma estável em solução aquosa (Chameides e Perdue, 1997). Sob esta forma, o fósforo pode ser encontrado como: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , conhecidas como fósforo dissolvido reativo (FDR) ou, também, como fósforo reativo solúvel (FRS), pois são

prontamente assimiláveis pelas plantas. As formas dissolvidas ou particuladas estarão sempre combinadas ou complexadas a outros elementos. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática das formas de fósforo encontradas no sistema aquático.

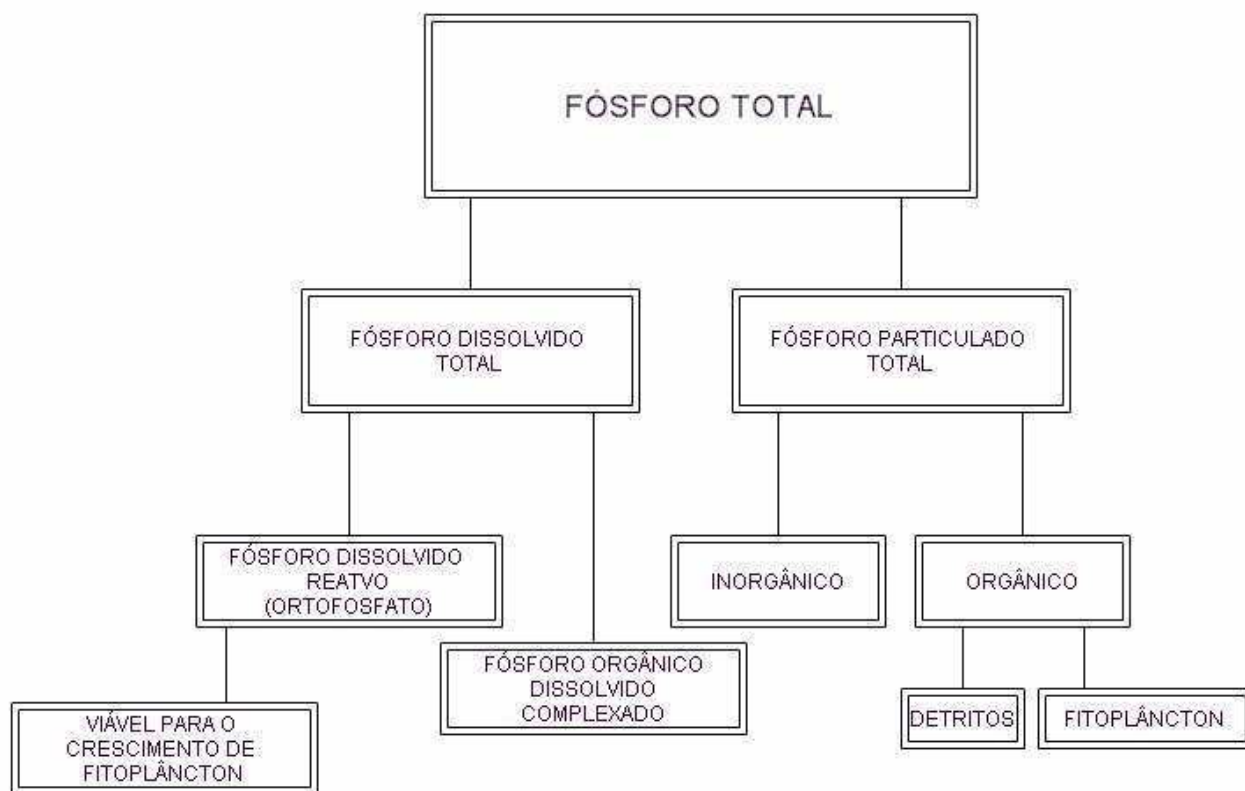


FIGURA 2.1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FORMAS DE FÓSFORO

Fonte: Adaptado de Thomann e Mueller (1987)

Sawyer *et al.* (1994) citam que os polifosfatos são muito utilizados em detergentes, por serem inorgânicos, não são prontamente disponíveis para as plantas, entretanto, com o tempo, podem sofrer hidrólise e serem transformados em FDR. A liberação de fosfato inorgânico a partir de matéria orgânica é catalisada por enzimas denominadas fosfatases, produzidas principalmente por bactérias. Algumas bactérias e fungos produzem fitases, que podem ter grande importância na transformação do fosfato inorgânico em ortofosfato (Esteves, 1988).

O fósforo, na forma de fosfato, pode ser capturado pelos organismos vivos para metabolização, sendo que este processo pode ser influenciado por algumas variáveis como luz e o pH (Wetzel, 1983).

A concentração de fósforo total pode ser relacionada com estados de trofia de corpos aquáticos, sendo que sua concentração deve ser interpretada como potencial de eutrofização. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) utiliza

os valores de concentração de fósforo para classificação do estado de trofia em lagos conforme apresentado na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 – CONCENTRAÇÃO DE P-TOTAL EM RELAÇÃO AO ESTADO TRÓFICO DE LAGOS

ESTADO TRÓFICO	P-total ($\mu\text{g PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$)
Ultra-oligotrófico	< 5
Oligomesotrófico	5 – 10
Meso-eutrófico	10 – 30
Eu-politrófico	30 – 100
Politrófico	> 100

Fonte: Adaptado de Esteves (1988), citado por Vollenweider (1968)

O CONAMA estabelece que valores de concentração de fósforo total para ambientes lóticos e lênticos em águas continentais devem ser iguais ou inferiores aos apresentados na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/05

CLASSES 1 e 2 – ÁGUAS DOCES	
PARÂMETRO	VALOR ESTABELECIDO
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,02 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos para ambientes lênticos)	0,025 mg/L P
Fósforo total (ambientes lóticos e tributários para ambientes intermediários)	0,1 mg/L P
CLASSE 3 – ÁGUAS DOCES	
PARÂMETRO	VALOR ESTABELECIDO
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,05 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos para ambientes lênticos)	0,075 mg/L P
Fósforo total (ambientes lóticos e tributários para ambientes intermediários)	0,15 mg/L P

Fonte: Adaptado CONAMA (2005)

O fósforo também está presente no sedimento, sendo oriundo da rocha da bacia de drenagem ou deposição através da coluna d'água por meio de processos

físicos, químicos ou biológicos. Wetzel (1983) afirma que a troca de fósforo com o sedimento é a principal etapa do ciclo do fósforo no ambiente aquático. Grande parte do fosfato que chega aos ecossistemas aquáticos continentais pode ser precipitada no sedimento, sendo que, em muitos casos, este fosfato não mais retorna no metabolismo límnico. Segundo Esteves (1988), três fatores são importantes para a retenção deste elemento no sedimento:

- i. habilidade do sedimento para reter fósforo;
- ii. condições sobrejacentes da água;
- iii. presença de biota no sedimento, o que altera o equilíbrio de troca e os efeitos do transporte do fósforo para a coluna d'água.

A composição mineral do meio regula a capacidade do sedimento de absorver e reter o fosfato. A presença de íons ferro, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos, carbonatos, além do pH e das condições de oxi-redução do meio, interferem na precipitação e imobilização dos fosfatos no ambiente aquático. Os íons do elemento ferro exercem o papel mais importante; sua ação depende do estado de oxidação, que depende da concentração de oxigênio e do pH do meio. Em condições aeróbias e pH próximo do neutro, o fosfato é adsorvido a agregados de hidróxido de ferro, formando composto insolúvel e precipitando (Ferreira *et al.*, 2005).

Resultados de pesquisa de Boers *et al.* (1998), demonstram que a contribuição interna, isto é, a liberação de fósforo do sedimento para a coluna d'água pode ser de igual intensidade, ou mesmo exceder, a contribuição externa de fósforo para a permanência do nível de eutrofização. Ainda, de acordo com resultados de Rivera (2003), a liberação de fósforo a partir do sedimento pode postergar a recuperação de lagos, mesmo quando são tomadas medidas para reduzir o aporte de nutrientes.

A liberação de íons fosfato para a coluna d'água dependerá da diferença de concentração entre sedimento e coluna d'água e da concentração de oxigênio no hipolímnio, sendo que, em condições de baixas concentrações de oxigênio e, sobretudo, em anaerobiose, condição esta, observada freqüentemente em valores de potencial de oxi-redução muito negativos.

A concentração de oxigênio na interface água-sedimento influencia diretamente o ciclo do fósforo no sedimento. Desta forma, no hipolímnio, isto é, a zona mais fria da região inferior de um lago aeróbio, o fosfato seria precipitado,

enquanto no hipolímnio anaeróbico, o fosfato seria liberado para a coluna d'água. O fosfato liberado pelo sedimento estaria, então, disponível para assimilação das plantas aquáticas e comunidades fitoplanctônicas, interferindo e/ou alterando o estado trófico do corpo aquático.

O fenômeno de adsorção de fosfato às argilas possui grande importância em águas continentais tropicais pelo fato que a maioria destes corpos aquáticos recebe consideráveis aportes de argilas de suas bacias de drenagem (Esteves, 1988, Ferreira *et al.*, 2005). As argilas presentes no sistema aquático, dependendo das condições físico-químicas do meio e de sua concentração em ferro e alumínio, podem precipitar grandes quantidades de fósforo. Muitas argilas apresentam grande capacidade de adsorção de fosfato, principalmente aquelas que têm na sua constituição, ferro e alumínio, como a hematita e a gipsita (Esteves, 1988).

Segundo este mesmo autor, a adsorção de fosfato às argilas pode compreender dois processos, a ligação química da carga negativa do fosfato com a positiva das bordas das argilas e/ou substituição do fosfato por silicatos da argila.

2.2 NITROGÊNIO

O maior reservatório de nitrogênio molecular é a atmosfera, que contém cerca de 78% da composição total (Stumm e Morgan, 1996). Esta grande fonte, após ser fixada e metabolizada, é devolvida à atmosfera pela ação de bactérias ou algas fixadoras de nitrogênio (biofixação), por meio da radiação, e por outras formas de fixação físicas (Odum, 1988).

O ciclo do nitrogênio possui quatro etapas importantes (USEPA, 1999, Wetzel, 1983, Esteves, 1988, Enrich-Prast, 2005, Stumm e Morgan, 1996):

- **nitrogênio fixação:** conversão do nitrogênio molecular em amônia através do metabolismo de seres vivos como as algas verde-azuladas e alguns gêneros de bactérias;
- **amonificação:** degradação de compostos orgânicos nitrogenados, por agentes decompositores, com a liberação de amônia;
- **nitrificação:** processo pelo qual os compostos de nitrogênio orgânico e inorgânico são convertidos bioquimicamente, do estado reduzido ao mais oxidado;
- **desnitrificação:** é o processo biológico em que bactérias facultativas convertem o NO_3^- em N_2 , em condições anaeróbicas.

O nitrogênio é um macronutriente essencial ao metabolismo dos seres vivos, pois, depois do carbono, é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas e, ao contrário do fósforo, é abundante no ambiente aquático. Segundo Wetzel (1983), sua importância deve-se, principalmente, a sua participação na formação de proteínas e, em baixas concentrações, atuação como nutriente limitante na produção primária.

No ambiente aquático, o nitrogênio ocorre em diversas formas: N_2 (nitrogênio molecular), NH_4^+ (íon amônio), NO_2^- (nitrito) e NO_3^- (nitrato), NH_3 (amônia), N_2O (óxido nitroso), nitrogênio orgânico dissolvido e nitrogênio orgânico particulado (Enrich-Prast, 2005). Entre as diferentes formas de nitrogênio, o nitrato e o íon amônio possuem grande importância para os ecossistemas aquáticos porque representam a principal fonte de nitrogênio para os produtores primários (Esteves, 1988). A Figura 2 apresenta uma representação esquemática das formas de nitrogênio encontradas no sistema aquático.

O nitrogênio pode ser introduzido no ambiente aquático através de efluentes industriais, as águas residuárias domésticas, os excrementos de animais, os fertilizantes e incorporação do nitrogênio gasoso (Sperling, 1996).

O estado de oxidação dos compostos de nitrogênio em corpos aquáticos pode indicar a idade da poluição, as formas reduzidas significam que o foco de poluição se encontra próximo; enquanto a prevalência de nitrito e nitrato, ao contrário, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes, os estados reduzidos ou oxidados são função da disponibilidade de oxigênio na coluna d'água.

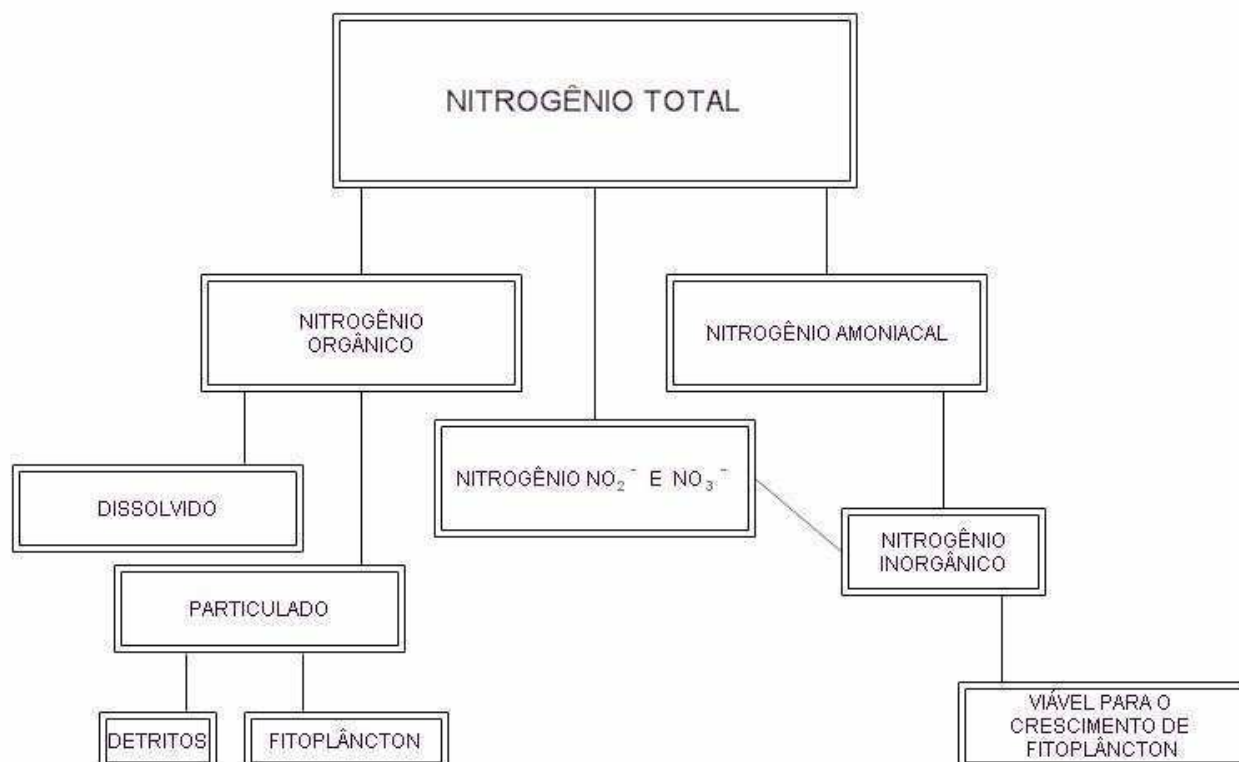


FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FORMAS DE NITROGÊNIO

Fonte: Adaptado de Thomann e Mueller (1987)

Tanto o nitrogênio, como o fósforo, pode colaborar no processo de eutrofização em corpos aquáticos. A concentração de diferentes formas de nitrogênio pode ser relacionada com o estado de eutrofização, (Tabela 2.4).

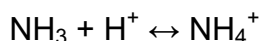
TABELA 2.4 – CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS SEGUNDO AS DIFERENTES FORMAS NITROGENADAS (mg/L)

ESTADO TRÓFICO	N - Amoniacal	Nitrato	Nitrato
Oligotrófico	0,0 – 0,3	0,0 – 1,0	0,0 – 0,5
Mesotrófico	0,0 – 2,0	1,0 – 5,0	0,5 – 5,0
Eutrófico	2,0 – 15,0	5,0 – 50,0	5,0 – 15,0

Fonte: Adaptado de Esteves (1988), citado por Vollenweider (1968)

As concentrações das diferentes formas de nitrogênio estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/05 estão apresentadas na Tabela 2.5. A variação da concentração do parâmetro nitrogênio amoniacal total em função do pH, deve-se ao seu equilíbrio químico no meio aquático. O nitrogênio amoniacal total, representa as espécies de NH_3 , conhecida como amônia não-ionizada e NH_4^+ , como amônia ionizada.

A reação de equilíbrio da amônia é:



A amônia não-ionizada possui toxicidade cerca de 100 vezes mais do que a forma ionizada, e como o equilíbrio químico destas duas espécies é regulado pelo pH e pK, que é logaritmo inverso do pH, quanto mais elevado for o pH maior será a presença da espécie NH_3 , desta forma, corpos aquáticos com pH mais elevados tornam-se ecossistemas mais frágeis à presença da amônia.

TABELA 2.5 – CONCENTRAÇÕES DAS FORMAS NITROGENADAS SEGUNDO RESOLUÇÃO CONAMA 357/05

CLASSES 1 e 2 – ÁGUAS DOCES	
PARÂMETRO	VALOR ESTABELECIDO
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5
	2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0
	1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5
	0,5 mg/L N, para pH > 8,5
CLASSE 3 – ÁGUAS DOCES	
PARÂMETRO	VALOR ESTABELECIDO
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5
	5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0
	2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5
	1,0 mg/L N, para pH > 8,5

Fonte: Adaptado de CONAMA (2005)

2.3 EUTROFIZAÇÃO

O enriquecimento e a eutrofização cultural de corpos aquáticos estão ligados à variedade de atividades humanas que podem interferir na qualidade da água por meio de manejo inadequado de solo, descarga de resíduos líquidos e urbanização (Biggs, 2000, Doods e Welch, 2000).

A adição de nutrientes inorgânicos e de matéria orgânica aumenta a fotossíntese e a respiração nos corpos aquáticos. Esta situação é denominada eutrofização, e é uma condição para o processamento de energia de alto metabolismo (Odum, 1988), isto é, manifesta-se por meio da vida produtiva do curso aquático, sendo observado o crescimento exagerado de vegetais aquáticos, devido à maior concentração de nutrientes, principalmente, nitrogênio (N) e fósforo (P), que são carregados pelas águas da chuva para os leitos dos rios, oriundos de fertilizantes orgânicos e inorgânicos utilizados na produção agrícola.

Thomann e Mueller (1987), definem eutrofização como o crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo aquático.

Apesar do processo de eutrofização ocorrer tanto em ambientes lênticos como lóticos, acontece principalmente em ambientes lênticos, em lagos e represas com tempo de residência baixo.

O principal fator para o processo de eutrofização é a radiação solar; uma vez que é necessária para a fotossíntese de plantas aquáticas. Entretanto, também contribuem para o processo, além da incidência solar, a geografia do entorno do corpo aquático, o grau de penetração da radiação solar na coluna d'água, a magnitude da entrada e o tipo de nutriente e as particularidades de movimento, transporte e dispersão no corpo aquático. Segundo Thomann e Mueller (1987), as principais variáveis que devem ser analisadas para acompanhar e verificar o processo de eutrofização são a radiação solar na superfície e na profundidade, geometria do corpo aquático, fluxo, velocidade, dispersão, temperatura da água, nutrientes e concentração de fitoplâncton, representado pela clorofila-*a*.

Quando ocorre de forma natural, a eutrofização é um processo gradual e lento, ao contrário da eutrofização cultural, que ocorre de forma acelerada, com aumento desordenado na produção de biomassa, impossibilitando a sua incorporação pelo sistema aquático na mesma velocidade de produção e provocando, assim, um desequilíbrio ecológico (Ferreira e outros, 2005). Nos Estados Unidos a eutrofização cultural é um dos fatores primários do comprometimento de águas superficiais (USEPA, 1996).

Henry *et al.* (1983) definem eutrofização artificial ou cultural como o processo de degradação dos ambientes aquáticos como consequência de ações antrópicas. A eutrofização cultural é causada, principalmente, pela descarga de águas residuárias domésticas, de efluentes industriais, da drenagem de áreas agrícolas, florestais e urbanas, além da precipitação de material da atmosfera, sob a forma de partículas junto com a água da chuva.

Os nutrientes, principalmente, o fósforo e o nitrogênio, oriundos de fontes pontuais ou difusas encontram-se sob diversas formas no corpo aquático, mas nem todas são absorvidas pelo fitoplâncton.

Os sistemas convencionais para classificação de lagos em categorias tróficas utilizam nutrientes e biomassa, pois o enriquecimento com nutrientes pode converter o estado de eutrofização oligotrófica para uma condição eutrófica, que resulta na produção anual de grandes populações de algas, principalmente as algas verde-azuladas (Edmondson e Peterson, 2005).

As condições de contorno entre os estados tróficos são similares, mas não universais. Existem várias classificações em termos de concentrações para nutrientes, clorofila-*a* e disco de Secchi. Isso ocorre porque existem condições geográficas diferentes entre os lagos onde foram realizados os estudos, o que representa a alteração dos critérios estabelecidos (Jones e Knowlton, 1993).

Wetzel (1983) adota os valores de clorofila-*a*, carbono orgânico total, fósforo total, nitrogênio e sólidos totais inorgânicos na coluna d'água para relacionar com níveis tróficos conforme apresentado na Tabela 2.6.

A Tabela 2.7 apresenta os valores para classificação de lagos, baseada no estado trófico resultante de uma análise de eutrofização em países da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD).

TABELA 2.6 – CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES ESTADOS TRÓFICOS EM LAGOS

Estado trófico	Clorofila-<i>a</i> (mg/m³)	COT (mg/L)	P total (µg/L)	N total (µg/L)	Sólidos inorgânicos totais (mg/L)
Ultraoligotrófico					
Oligotrófico	0,01 – 0,5	< 1 – 3	< 1 – 5	< 1 – 250	2 – 15
Oligomesotrófico					
Mesotrófico	2 – 15	< 1 – 5	5 – 10	250 – 600	10 – 200
Mesoeutrófico	10 – 500	5 – 30	10 – 30	500 – 1100	100 – 500
Eutrófico	-	-	30 - > 5000	500 - > 15000	400 – 60000
Hipereutrófico					
Distrófico	< 50 – 200	3 – 30	< 1 – 10	< 1 – 500	5 – 200

Fonte: Adaptado de Wetzel (1983)

TABELA 2.7 – VALORES DA OECD PARA CLASSIFICAÇÃO DE LAGOS

Estado Trófico	ESPECIFICAÇÃO	FÓSFORO TOTAL DISSOLVIDO (mg PO ₄ ⁻³ /L)	CLOROFILA (mg/L)	
			MÉDIO	MÁXIMO
Ultra Oligotrófico	Corpos aquáticos limpos, com produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.	< 0,004	< 0,001	0,0025
Oligotrófico	Corpos aquáticos limpos, com baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água decorrentes da presença de nutrientes.	< 0,01	< 0,0025	0,008
Mesotrófico	Corpos aquático com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas, na maioria dos casos, em níveis aceitáveis.	0,001 a 0,035	0,0025-0,008	0,008-0,0025
Eutrófico	Corpos aquáticos com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.	0,035 a 0,1	0,008-0,025	0,025-0,075
Hipereutrófico	Corpos aquáticos afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado dos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandade de peixes, com conseqüências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.	> 0,1	> 0,025	> 0,075

Fonte: Adaptado de Rivera (2003)

A eutrofização apresenta impactos ao corpo aquático e, segundo Thomann e Mueller (1987), os efeitos indesejáveis causados são:

- problemas estéticos e recreacionais;
- grandes variações diurnas na concentração de oxigênio dissolvido podem resultar em concentrações baixas à noite, podendo ocasionar a morte de peixes;
- fitoplâncton e outras plantas criam uma demanda de oxigênio no sedimento de sistemas aquáticos que, por sua vez, resulta em valores baixos de oxigênio dissolvido no hipolímnio de lagos e reservatórios;

- diatomáceas e algas filamentosas podem bloquear o fluxo de tratamento de filtros e resultar na redução do tempo da retrolavagem;
- crescimento excessivo de macrófitas aquáticas aderidas que podem interferir na navegação, aeração e capacidade de transporte pelo canal.

O principal fator para o controle de um sistema aquático eutrofizado é a determinação do nutriente limitante. A definição do nutriente limitante obedece a lei do mínimo estabelecida por Liebig (Odum, 1987). Essa lei estabelece que o crescimento de um organismo é limitado pela substância disponível nas quantidades mínimas relativas às suas necessidades para crescimento e reprodução.

Thomann e Mueller (1987) sugerem utilizar como critério para estimar preliminarmente se o crescimento de algas em um lago está sendo controlado pelo fósforo ou pelo nitrogênio a relação molar entre as concentrações destes elementos:

- grandes lagos, com predominância de fontes não pontuais: $N/P > 10$: limitação por fósforo;
- pequenos lagos, com predominância de fontes pontuais: $N/P < 10$: limitação por nitrogênio.

A determinação da razão N/P é útil para melhorar a compreensão da relação entre os nutrientes e o crescimento da biomassa. No controle da eutrofização, deve ser considerado também os nutrientes liberados pela decomposição da matéria orgânica e a liberação pelo sedimento. Para Thomann e Mueller (1987), os impactos da liberação de nutrientes pelo sedimento podem ser significantes e resultar em um processo de eutrofização contínuo mesmo quando fontes externas, pontuais ou difusas de aporte, estejam controladas.

2.4 ALGAS

A principal característica das algas é a presença de pigmentos fotossintetizantes, clorofila, carotenóides e biliproteínas. Segundo Graham e Wilcox (2000), as algas são talófitos fotossintetizantes que apresentam clorofila-*a* e cujos órgãos de reprodução são destituídos de envoltório de células estéreis. Nas comunidades fitoplanctônicas coexistem vários gêneros de algas como *Cyanophyta*, *Prochlorophyta*, *Rhodophyta*, *Fucophyceae*, *Bacillariophyceae*, *Dinophyta*, *Chlorophyta* e *Euglenophyta*. Em alguns casos algumas espécies são encontradas

em maior número que outras, mas freqüentemente, duas ou mais espécies são dominantes.

O fitoplâncton de água doce compreende diversas microalgas unicelulares, isoladas ou organizadas em colônias filamentosas, com representantes da maioria dos filos de algas, exceto feófitas e rodófitas (Margalef, 1983; Reynolds, 1984; Sandgren, 1988; Esteves, 1988).

A modalidade dominante de metabolismo entre as algas é a fotossíntese, em que o carbono celular é obtido pela redução do dióxido de carbono. Dessa forma, a maioria das algas é obrigatoriamente fotoautotróficas, isto é, requer energia luminosa para esta transformação.

A comunidade fitoplanctônica apresenta distribuição espacial em função da circulação do lago, intensidade dos ventos, crescimento intensivo, migração vertical e predação pelo zooplâncton. O fitoplâncton tende a ocorrer em maior abundância nas camadas superiores do reservatório, diminuindo o número de indivíduos conforme aumenta a profundidade (Esteves, 1988). Os principais fatores que regulam o crescimento e a sucessão das espécies fitoplanctônicas são luz e temperatura, alterações na profundidade da zona eufótica e a disponibilidade de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2005). A combinação ótima destes fatores pode gerar crescimento excessivo de plantas aquáticas que gera conseqüências para a qualidade da água, alterando suas características químicas e o restante do ecossistema (Paerl, 1988; Sandgren, 1988).

Os efeitos da luz e da temperatura nos organismos fotossintetizantes e o crescimento das algas são inseparáveis devido às relações entre metabolismo e saturação de luz.

Geralmente, a intensidade da luz requerida para saturar a fotossíntese cresce com o aumento da temperatura, a relação entre temperatura e crescimento pode ser determinada pela Equação (1) desenvolvida por Eppely (1972):

$$G(T) = G_{\max} (1,066)^{T-20} \quad (1)$$

em que:

G_{\max} : taxa de crescimento para o fitoplâncton a 20°C sob condições ótimas de luz e nutrientes.

Como o crescimento varia em função das espécies presente, deve ser considerada uma aproximação:

$G_{\text{máx}} \cong 1,8/\text{dia}$ (para ambientes temperados)

O crescimento da biomassa de fitoplâncton é fortemente reduzido ou negligenciável durante o inverno ou em função da baixa quantidade de luz e temperatura. O fitoplâncton e a biomassa normalmente crescem com a chegada da primavera sob condições de luz apropriadas e se desenvolvem ao máximo em função das condições desta estação.

O grau de penetração da luz solar na coluna d'água representa efeito significativo sobre a qualidade das águas. Um dos principais efeitos da luz solar é o efeito bactericida, a taxa de fotossíntese de plantas aquáticas, claridade em geral e qualidade estética.

A diminuição da zona eufótica ocorre principalmente por dois mecanismos, a absorção e a dispersão. A presença de material particulado na água pode absorver a luz e a dispersão na água é o efeito da reflexão e difração por partículas, sendo que, na água pura é devido a pequenas flutuações na densidade entre outros fatores (Thomann e Mueller, 1987).

A determinação da penetração da luz em corpos aquáticos é importante para a determinação da profundidade da zona eufótica, pois é nesta região que se espera uma produção primária de fitoplâncton representativa da camada trofогênica (Schäfer, 1985).

A profundidade da zona eufótica pode ser calculada pela Equação (2).

$$\text{prof. l} = Z_{\text{dS}} \times 0,54 \quad (2)$$

em que:

Z_{dS} = profundidade Secchi

0,54 = fator para calcular 40% de luz incidente

Estudos realizados por Huszar, Silva e Esteves (1990) e Henry (1999), em reservatórios da região sul e sudeste do Brasil, apresentaram resultados que indicam que a comunidade fitoplanctônica é controlada basicamente pela sazonalidade, períodos de chuva e seca, quantidade de nutrientes na água, estratificação e circulação (dependente da profundidade) e, conseqüente, camada de mistura. A velocidade e a duração dos ventos determinam alterações na estrutura da comunidade algal, enquanto os efeitos do tempo de retenção nos reservatórios influenciam os parâmetros físico-químicos da água e, em conseqüência, a variabilidade do fitoplâncton (Straskraba, 1999).

As análises e evoluções sazonais e espaciais das características de crescimento do fitoplâncton são dificultadas, algumas vezes, pela disposição dos fatores ambientais, a fisiologia de cada espécie de alga e a magnitude das mudanças que podem ocorrer em ambas.

2.4.1 Clorofila-a

Existem diversos tipos de clorofila, clorofila *a*, *b*, *c* e *d*. A clorofila-*a* é o pigmento fotossintetizante primário dos organismos que produzem oxigênio e está presente em algas, organismos fotossintetizantes e em algumas bactérias, é o único pigmento que tem a capacidade de converter energia luminosa em moléculas orgânicas (Sakshaug, 1980). O mesmo autor cita que a clorofila-*a* é uma das características que distingue cianobactérias de bactérias fotossintetizantes.

O monitoramento do teor de clorofila-*a* em sistemas aquáticos permite avaliar quantitativamente a biomassa fitoplanctônica presente no ambiente, podendo ser utilizado como indicador de condições tróficas (Welch *et al.*, 1989; Doods *et al.*, 1998).

2.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os Índices de qualidade da água foram propostos visando resumir as variáveis analisadas em um número, que possibilite observar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço e que sirva para facilitar a interpretação de variáveis ou indicadores (Gastaldini e Souza, 1994).

A grande vantagem do uso de índices é fornecer à sociedade e a comunidade científica de maneira clara, a qualidade de água em um certo período de tempo. Uma das desvantagens é a perda da informação individual dos parâmetros que o compõe.

Em geral, um índice de qualidade de água é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos, bacteriológicos, e/ou químicos por meio de metodologias específicas. Como existe uma variedade de usos para a água, surgiram, então, vários índices, tais como (Derísio, 1992):

- índice de qualidade de água em geral;
- índice de qualidade de água para usos específicos;
- índice de qualidade de água para planejamento ambiental, entre outros.

No Brasil diversos índices foram adaptados e/ou desenvolvidos com a finalidade de classificar os corpos aquáticos em função dos usos e/ou proteção a vida aquática, entre eles pode-se citar o ISTO (Índice de substâncias organolépticas), o IAP (Índice de qualidade de águas brutas para fins de abastecimento público), o IVA (Índice de proteção da vida aquática) e o IMPCA (Índice de variáveis mínimas para preservação da vida aquática).

Entretanto devido a importância relativa de alguns índices com esta pesquisa serão apresentados com mais detalhes o IQA, IQA_{PVA}, AIQA, IQAR e o IET.

- **ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – IQA**

O *Water Quality Index* (WQI), em português Índice de Qualidade de Água (IQA), foi desenvolvido pela *National Foundation Sanitation* (NFS) dos Estados Unidos em 1970. A criação deste índice tem como objetivo classificar a qualidade de águas destinadas ao abastecimento público. É constituído por nove variáveis: oxigênio dissolvido (OD), coliforme fecal, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5 dias), temperatura, fósforo total, nitrato, turbidez e sólidos totais.

A partir de 1975 a CETESB adaptou e desenvolveu um IQA com as variáveis: oxigênio dissolvido, temperatura, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez.

O principal erro embutido no uso do IQA é o erro de eclipse (Flores, 2000). A eclipse ocorre quando determinado parâmetro que compõe o índice apresenta valor distante das condições ambientais desejáveis, todavia, pela forma de compor o índice esta condição de degradação é amenizada.

O IQA adaptado e utilizado pela CETESB está apresentado na Equação (3).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

em que :

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representado na Tabela 2.8.

As variáveis de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA, refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos.

TABELA 2.8 – CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA

CLASSIFICAÇÃO DO IQA	
CATEGORIA	PONDERAÇÃO
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: Adaptado de CETESB (2006)

• ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUAS PARA PROTEÇÃO DA VIDA AQUÁTICA – IQA_{PVA}

O Índice de Qualidade de Águas para Proteção da Vida Aquática (IQA_{pva}) foi desenvolvido com o objetivo de a proteção da vida aquática. Foi proposto por Silva (2004), a grande vantagem de sua aplicação é o número de parâmetros necessários: oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. Segundo Silva (2004) no desenvolvimento de índices de uso específico, a presença do efeito eclipse pode ser minimizada porque as variáveis críticas podem ser mais delineadas.

A escolha da NH₃ foi devido ao seu efeito tóxico e o OD necessário para estabilização da matéria orgânica. O cálculo do (IQA_{pva}) é realizado pela Equação (4):

$$\text{IQA}_{pva} = \text{Min}(I_1, I_2, I_3, \dots, I_n) \quad (4)$$

em que:

I_1 = concentração de amônia normalizada

I_2 = concentração de oxigênio dissolvido normalizada

I_n = qualquer novo parâmetro crítico que venha a ser incorporado.

Os resultados obtidos pela Equação 4 enquadram o corpo aquático nas classes apresentadas na Tabela 2.9.

TABELA 2.9 – CURVA DE NORMALIZAÇÃO PARA AMÔNIA TOTAL E OXIGÊNIO DISSOLVIDO COM OS RESPECTIVOS FATORES DE NORMALIZAÇÃO E ESTADOS DE QUALIDADE

	Ótima			Boa		Regular		Ruim		Péssima	
Fator de normalização	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Amônia total (mg N/L)	< 0,01	< 0,05	< 0,10	< 0,20	< 0,30	< 0,40	< 0,50	< 0,75	< 1,00	≤ 1,25	> 1,25
Oxigênio dissolvido (mg/L)	≥ 7,5	> 7,0	> 6,5	> 6,0	> 5,0	> 4,0	> 3,5	> 3,0	> 2,0	≥ 1,0	< 1,0

Fonte: Adaptado de Silva (2004)

- **AIQA – AVALIAÇÃO INTEGRADA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS**

O IAP estabeleceu uma metodologia para avaliar a qualidade da água de seus rios integrando aspectos físico-químicos e biológicos que pudessem refletir o estado geral do ecossistema.

Foi considerado para o desenvolvimento do índice os valores estipulados pela Resolução CONAMA 357/05 associados com parâmetros ecotoxicológicos desenvolvidos no próprio Instituto para avaliar o grau de degradação de corpos aquáticos continentais superficiais.

Para relacionar aspectos da qualidade das águas que não apresentam correlação óbvia, foi usada metodologia da Análise Multiobjetivo, dentre as quais a Programação de Compromisso que se baseia em uma noção geométrica de “melhor” onde se pode comparar o ponto representativo do estado da qualidade das águas de um ou mais mananciais com um ponto ideal (E) inicialmente teorizado por Pareto (IAP, 1999), conforme apresentado na Figura 2.3.

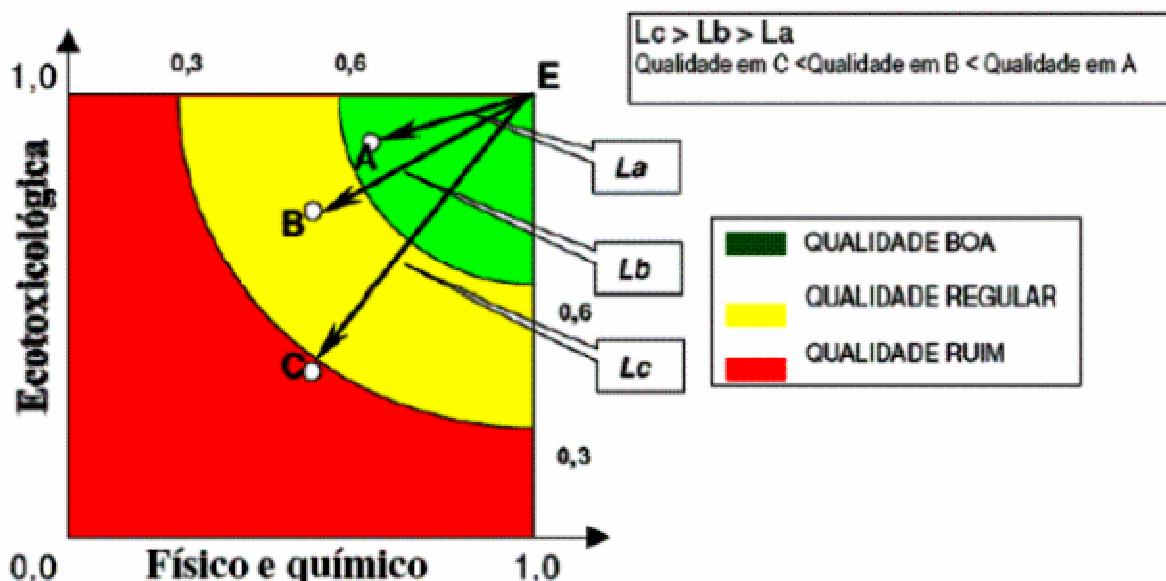


FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DA VARIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SOB OS ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICO, BACTERIOLÓGICO E ECOTOXICOLÓGICOS

Fonte: Adaptado de IAP (1999)

A avaliação integrada da qualidade das águas dos sistemas considerados se dará pela anotação da distância euclidiana entre o ponto representativo da qualidade média dos sistemas avaliados - coordenadas cartesianas (X_i ; Y_i) e o ponto de Melhor Situação estabelecido como referencial – coordenadas cartesianas (1,0; 1,0). Assim, a melhor ou pior qualidade de um determinado Sistema será obtida pela maior ou menor distância ao Ponto Referencial de melhor qualidade.

Para simplificar o enquadramento classificou-se os corpos d'água em diferentes categorias e códigos de cores para avaliações através de análises de variáveis físicas, químicas e bacteriológicas:

lilás = não ou muito pouco comprometido: enquadram-se, nesta categoria, os rios que apresentam condições de qualidade de água compatíveis com os limites estabelecidos para a Classe 1 (Resolução CONAMA Nº 357/05). Estes rios apresentam qualidade da água ótima, com níveis desprezíveis de poluição. Enquadram-se nesta categoria os corpos d'água que apresentam condições de qualidade de água compatíveis com os limites estabelecidos para a Classe 2 (Resolução CONAMA Nº 357/05). Estes rios apresentam qualidade da água boa, com níveis baixos de poluição.

verde claro = moderadamente comprometido: enquadram-se nesta categoria os corpos d'água que apresentam condições de qualidade de água compatíveis com os limites estabelecidos para rios de Classe 3 (Resolução CONAMA Nº 357/05). Estes rios apresentam qualidade da água regular, com níveis aceitáveis de poluição.

amarelo = poluído: enquadram-se nesta categoria os corpos d'água que apresentam condições de qualidade de água compatíveis com os limites estabelecidos para rios de Classe 4 (Resolução CONAMA Nº 357/05). Estes rios apresentam qualidade da água ruim, com poluição acima dos limites aceitáveis.

vermelho = muito poluído: esta categoria abrange os corpos d'água que não se enquadram em nenhuma das classes acima estabelecidas. Estes rios apresentam qualidade da água péssima, com níveis de poluição muito elevados.

- **ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RESERVATÓRIOS – IQAR**

O Instituto Ambiental do Paraná – IAP desenvolveu o IAQR com o objetivo de estabelecer diferentes classes dos reservatórios em relação ao grau de degradação da qualidade de suas águas, foi desenvolvida uma matriz contendo os intervalos de classe dos parâmetros mais relevantes. A matriz desenvolvida apresenta seis classes de qualidade de água, as quais foram estabelecidas, a partir de percentis de 10, 25, 50, 75 e 90% de cada uma das variáveis mais relevantes conforme apresentado na Tabela 2.10.

As variáveis utilizadas no cálculo do IQAR apresentam pesos diferenciados, a Tabela 2.11 apresenta os pesos das variáveis selecionadas.

TABELA 2.10 – MATRIZ DE QUALIDADE DA ÁGUA

VARIÁVEIS	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de oxigênio dissolvido (%)	≥ 5	6-20	21-35	36-50	51-70	> 70
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	> 0,210
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	≤ 0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	>5,00
Clorofila-a (mg/m ³)	≤ 1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	>32
Profundidade do disco de Secchi (m)	≥ 3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	< 0,3
Demanda química de oxigênio (mg/L)	≤ 3	3-5	6-8	9-14	15-30	> 30
Cianobactérias (número de células)	≤ 1.000	1.001-5.000	5.001-20.000	20.001-50.000	50.001-100.000	> 100,000
Fitoplâncton (diversidade de espécies)	Baixa, sem predominância de espécies	Média a alta, sem predominância de espécies	Média a alta, com predominância de espécies	Reduzida, com predominância de espécies	Reduzida, com predominância de espécies	Muito reduzida com predominância de espécies
Fitoplâncton (florações)	Sem	Rara	Eventual	Frequente	Frequente/permanente	permanente
Tempo de residência (dias)	≤ 10	11-40	41-120	121-365	366-550	> 550
Profundidade média (m)	≥ 35	34-15	14-7	6-3,1	3-1,1	< 1

Fonte: Adaptado de IAP (2004)

TABELA 2.11– VARIÁVEIS SELECIONADAS E RESPECTIVOS PESOS

VARIÁVEIS	PESOS w_i
Déficit de oxigênio dissolvido (%)	17
Fósforo total (mg/L)	12
Nitrogênio inorgânico total (mg/L)	08
Clorofila-a (mg/m ³)	15
Profundidade do disco de Secchi (m)	12
Demanda química de oxigênio (mg/L)	12
Cianobactérias (número de células)	08
Tempo de residência (dias)	10
Profundidade média (m)	06

Fonte: Adaptado de IAP (2004)

A classe de qualidade da água a que cada reservatório pertence é identificada através do cálculo do IQAR:

$$\text{IQAR} = \sum (w_i \times q_i) / \sum w_i$$

em que:

w_i = pesos calculados para as variáveis "i";

q_i = classe de qualidade de água em relação a variável "i", q pode variar de 1 a 6.

As classes de qualidade em que os corpos aquáticos são enquadrados são:

Classe I: não impactado a muito pouco degradado: Corpos d'água sempre com saturação de oxigênio, baixa concentração de nutrientes, concentração de matéria orgânica muito baixa, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média;

Classe II: pouco degradado: Corpos d'água com pequena entrada de nutrientes orgânicos e inorgânicos e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa, densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média;

Classe III: moderadamente degradado: Corpos d'água que apresentam um déficit de oxigênio dissolvido na coluna de água podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos, entrada considerável de nutrientes e matéria orgânica, grandes variedades e densidade de algumas destas espécies de algas, sendo que algumas espécies, podem ser predominantes, tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas considerável;

Classe IV: criticamente degradado a poluído. Corpos d'água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, possibilidade de ocorrerem mortandade de peixes em alguns períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido, entrada de consideráveis carga de nutrientes , alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente à densidade algal;

Classe V: muito poluído: Corpos d'água com altas concentrações de matéria orgânica geralmente com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, alto "input" e reciclagem de nutrientes, corpos de água eutrofizados, com florações de algas que freqüentemente cobrem grandes extensões da superfície da 'água, o que limita a transparência das águas;

Classe VI: extremamente poluído: Corpos d'água com condições bióticas seriamente restritas, resultante de severa poluição pôr matéria orgânica ou outras substâncias consumidoras de oxigênio dissolvido, sendo que ocasionalmente ocorrem processos de anoxia em toda coluna de água, entrada e reciclagem de nutrientes muito altos, corpos d'água hipereutróficos, com florações de algas cobrindo toda a massa de água, eventual presença de substâncias tóxicas.

No sistema do IAP os dados coletados a cada campanha de monitoramento semestral são utilizados para o cálculo do IQAR parcial. A média aritmética de dois ou mais índices parciais fornece o IQAR final e a classe a qual cada reservatório pertence.

- **ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO – IET**

A classificação de ecossistemas aquáticos por meio de índices de estado trófico é comum em ciências aquáticas (Dodds *et al.*, 1998). A determinação do Índice do Estado Trófico – IET, tem por finalidade classificar corpos aquáticos em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para o crescimento de macrófitas aquáticas.

O IET foi desenvolvido com o objetivo de tornar mais clara a comunicação de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Por meio da análise de dados coletados em lagos de regiões temperadas, foi estabelecido um

índice que utiliza valores de clorofila-a, disco de Secchi e fósforo total, por meio de equações desenvolvidas por outros autores (Vollenweider, 1969; Vollenweider, 1976; Kirchner e Dillon, 1975; Sakamoto, 1966; Dillon e Rigler, 1974; Lasenby, 1975, citados por Carlson, 1977).

Pelo critério adotado para a definição do estado trófico, foi utilizado o dobro da biomassa de algas para a divisão entre cada estado, assim, toda vez que a concentração de biomassa dobra de algum valor base, um novo estado devia ser reconhecido. Devido às relações recíprocas entre concentração de biomassa e transparência do disco de Secchi, cada duplicação da concentração de biomassa pode resultar em perda da metade da transparência. Através da transformação dos valores do disco de Secchi em logaritmos na base 2, cada duplicação de biomassa pode ser representada pelo todo inteiro dos valores de disco de Secchi (Carlson, 1977). Para a determinação das equações finais para o cálculo do IET, foi aplicada a análise de regressão linear cruzando os parâmetros fósforo total, clorofila-a e transparência do disco de Secchi.

Nos estudos de Carlson (1977), após a avaliação de todos os dados, foi incluída a regressão linear entre os parâmetros fósforo total e transparência do disco de Secchi. Os resultados permitiram observar que o fósforo apresentava melhor correlação com a transparência quando era o fator limitante de crescimento.

Para o cálculo do IET, na equação de regressão do fósforo total, foram utilizados os valores de concentração correspondentes ao verão, pois para esta estação foi determinada a melhor correlação entre o fósforo e a clorofila-a (Carlson, 1977), devendo ser considerado que, em regiões de clima temperado, não é comum o florescimento de algas no inverno.

As Equações (5) a (67), resultantes das análises de regressão produzidas por Carlson (1977), podem ser utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico baseado na profundidade do disco de Secchi, concentração de fósforo total e clorofila-a, respectivamente.

$$IET(SD) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \quad (5)$$

$$IET(CLa) = 10 \times \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \times \ln CLa}{\ln 2} \right) \quad (6)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{\frac{\ln 48}{PT}}{\ln 2} \right) \quad (7)$$

em que:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CLa = concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

SD = profundidade do disco Secchi, em m

ln = logaritmo natural

A interpretação dos valores obtidos nas Equações 5 a 7 deve ser realizada de acordo com a Tabela 2.12.

TABELA 2.12 – CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO

IET	Disco de Secchi (m)	Concentração de PT (mg/m^3)	Concentração de Cla (mg/m^3)
0	64	0,75	0,04
10	32	1,5	0,12
20	16	3	0,34
30	8	6	0,94
40	4	12	2,6
50	2	24	6,4
60	1	48	20
70	0,5	96	56
80	0,25	192	154
90	0,12	384	427
100	0,062	768	1.183

Fonte: Adaptado de Carlson (1977)

Em 1983, no Brasil, Toledo Jr. *et al.* realizaram estudos para adequar, a ambientes subtropicais, as equações desenvolvidas Carlson. Esta adaptação foi considerada necessária para reduzir distorções nos valores de classificação, uma vez que, por exemplo, as condições climáticas são diferentes daquelas das regiões de clima temperado.

Da mesma forma que Carlson, Toledo Jr. *et al.* (1983), aplicaram a análise de regressão linear aos valores de fósforo total, clorofila-a e transparência do disco de Secchi a reservatórios do estado de São Paulo. Como resultado desta pesquisa, foram produzidas equações para fósforo total, ortofosfato (PO_4^{-3}), clorofila-a e transparência do disco de Secchi conforme Equações (8) a (11).

$$IET(SD) = 10 \times \left(6 - \frac{0,64 + \ln SD}{\ln 2} \right) \quad (8)$$

$$IET(CLa) = 10 \times \left(6 - \frac{2,04 - 0,695 \times \ln CLa}{\ln 2} \right) \quad (9)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{\frac{\ln 80,32}{PT}}{\ln 2} \right) \quad (10)$$

$$IET(PO_4^{-3}) = 10 \times \left(6 - \frac{\frac{\ln 21,67}{PO_4^{-3}}}{\ln 2} \right) \quad (11)$$

em que:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

PO_4^{3-} = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

CLa = concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

SD = profundidade do disco Secchi, em m

ln = logaritmo natural

Os resultados obtidos da aplicação do IET, alterado por Toledo Jr *et al.* (1983), devem ser interpretados de acordo com os seguintes critérios:

- Oligotrófico se: $IET < 44$
- Mesotrófico se: $44 \leq IET \leq 54$
- Eutrófico se: $IET > 54$

Desde a realização dos estudos de Toledo Jr. *et al.* (1983), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) tem aplicado este índice para a determinação do estado de eutrofização de ambientes lênticos no Estado de São Paulo. Entretanto, em função das características dos corpos aquáticos variarem no tempo e espaço, em função do uso e ocupação do solo, há a necessidade de alterações em alguns métodos de avaliação para que continuem a representar a realidade. Em função disso, em 1990, Toledo Jr. alterou IET inserindo outras categorias de trofia. A nova classificação utiliza como critério:

- Ultraoligotrófico se: $IET \leq 24$

- Oligotrófico se: $24 \leq \text{IET} \leq 44$
- Mesotrófico se: $44 \leq \text{IET} \leq 54$
- Eutrófico se: $54 \leq \text{IET} \leq 74$
- Hipereutrófico se: $\text{IET} > 74$

Este aperfeiçoamento foi necessário porque os corpos aquáticos são sistemas complexos, não estáticos e, desta forma, algumas considerações passam a não corresponder à realidade do ambiente.

A última alteração do IET para ambientes subtropicais foi realizada por Lamparelli (2004). Como mencionado anteriormente, esta alteração foi necessária para adequar os resultados obtidos para que expressem a realidade de corpos aquáticos monitorados. Para esta alteração, foi seguida a metodologia dos autores anteriormente citados, aplicando novamente a análise de regressão linear com o objetivo de melhor avaliar o grau de trofia de ambientes lênticos. Além disso, este autor propôs equações para determinar o IET para ambientes lóticos.

Neste trabalho, em função do exposto, a metodologia adotada para avaliação do estado de eutrofização foi aquela desenvolvida por Lamparelli (2004), apresentada no Capítulo 3.

Deve-se considerar que, em bacias que possuem uma elevada carga de matéria orgânica, nutrientes, metais e outros poluentes, a aplicação de ferramentas como o IET permite uma avaliação consistente do estado de degradação do corpo aquático. O resultado do cálculo deste índice pode orientar a priorização para a tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos, elaboração de políticas públicas para o meio ambiente e disponibilização de informações ao público em geral sobre a qualidade das águas, no que se refere à eutrofização das águas continentais, pois este índice é de fácil aplicação devido à praticidade das determinações analítica dos parâmetros fósforo total e clorofila-a.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Lago Barigui

A bacia do rio Barigui, uma das principais bacias da Região Metropolitana de Curitiba, está situada em área de intensa urbanização, industrialização e atividades agrícolas. A extensão total do rio é de 67 km, com área de drenagem de, aproximadamente, 279 km², localizada entre as coordenadas geográficas 25° 13' 24" e 25° 38' 23" Sul e 49° 15' 00" e 49° 22' 29" Oeste. Suas nascentes situam-se no município de Almirante Tamandaré, na serra da Betara, e sua foz no rio Iguaçu, na divisa entre os municípios de Araucária e Curitiba (Fill *et al.*, 2002). A Figura 3.1 apresenta a localização da bacia do rio Barigui e Parque municipal Barigui.

Em 1972, foi criado o lago Barigui, situado no Parque municipal Barigui com o objetivo de evitar o assoreamento e a poluição dos rios por meio de monitoramento, proteger a mata ciliar e impedir a ocupação irregular de suas margens.

O lago Barigui possui um volume médio de aproximadamente de 356 mil m³ e área de 270 mil m². Caracteriza-se por pequenas profundidades, que variam de 0,10 m a 1,85 m, com profundidade média de 1 m. Segundo Villa (2005), o tempo de residência do lago Barigui, considerando a vazão afluente média, é de aproximadamente 2 dias. Possui um comportamento hidrodinâmico caracterizado por baixas velocidades, com forças externas. A velocidade média do lago não sofre influência significativa das vazões, sendo que apenas devido à ação de ventos com velocidade a partir de 10 m.s⁻¹, classificados como “muito frescos” segundo a escala de Beaufort, ocorre uma maior mistura do lago (Villa, 2005).

Foram realizados diversos estudos na Bacia do rio Barigui (Furtado 2008, Martins 2008, Vasconcelos Neto 2003) com o objetivo de avaliar o potencial de contaminação por metais, avaliação da qualidade da água através da presença de metais e biomarcadores fecais em sedimentos, avaliação da aplicação do modelo matemático Qual2E para a gestão de bacias urbanas e, o lago Barigui foi estudado por Villa (2005), que buscou avaliar o potencial de poluição orgânica.

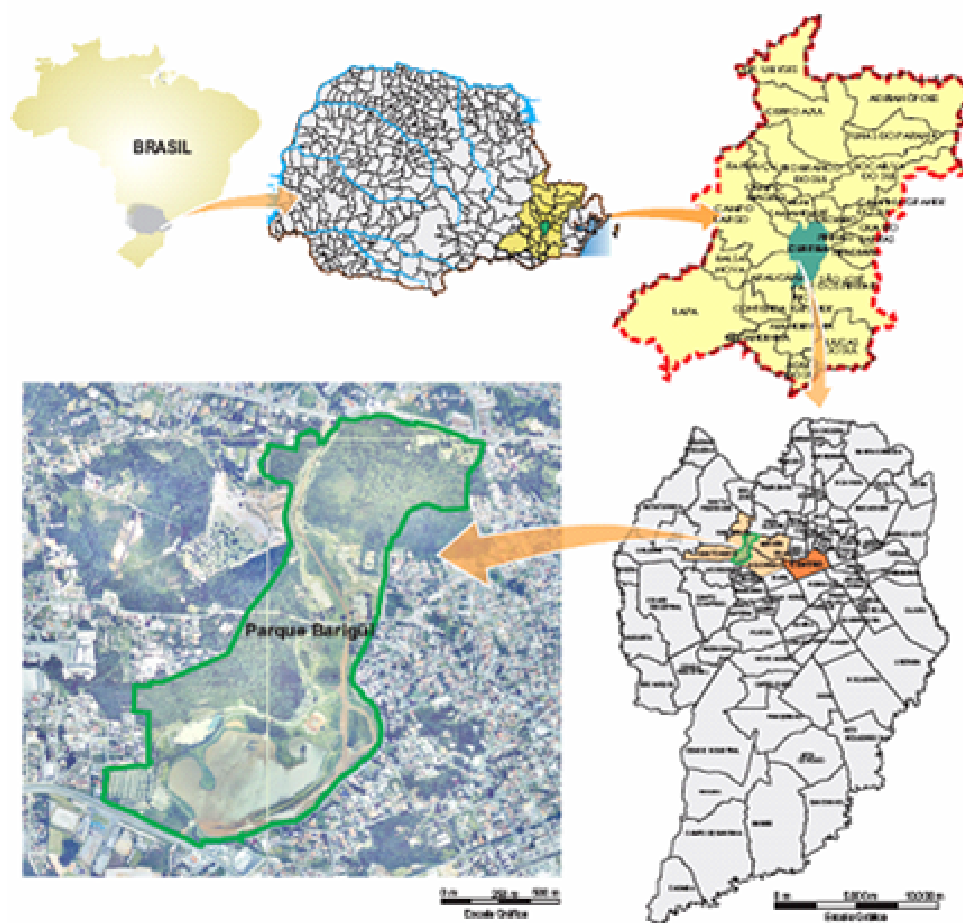


FIGURA 3.1 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DA BACIA DO RIO BARIGUI E LAGO

Fonte: Hardt *et al.* (2007)

Após o estudo realizado por Villa (2005), o lago Barigui passou pelo processo de limpeza e desassoreamento, com o objetivo de restaurar as profundidades concebidas na construção. Em março de 2007, a Prefeitura de Curitiba contratou a empresa Viaplan Engenharia Ltda para a dragagem do lago, que iniciou o processo de limpeza em março de 2007 e durou aproximadamente 6 meses. Durante este período foram dragados cerca de 8.000 a 8.500 m³ de sedimento. O tratamento do sedimento está sendo realizado numa área próxima ao lago, e consta de tratamento químico para floculação, mistura em chicanas e contenção e desidratação em tubo geotêxtil tecido (nome comercial *Geotube*, conhecido como *bags*). Atualmente, no local, estão dispostos 7 *bags* com dimensões de 60,00m x 8,20m x altura variável, e 7 com dimensões de 30,00m x 8,20m x altura variável, totalizando 14 *bags*. O

sedimento permanece armazenado no local, sendo que estão sendo estudadas alternativas para a disposição final.

O assoreamento do lago é consequência da deposição de material sedimentar como areia, entulhos, resíduos sólidos urbanos e esgoto sanitário, carregados pelo rio Barigui, o que diminui, o seu nível, favorecendo a proliferação de algas e outros organismos (organismos bentônicos, bactérias, protozoários, entre outros). O que está relacionado ao desenvolvimento de maus odores, prejudicando, conseqüentemente, a qualidade estética do parque.

3.2 METODOLOGIA ADOTADA

3.2.1 Monitoramento da Qualidade da Água

O monitoramento da qualidade da água caracterizou parâmetros físicos e químicos que forneceram subsídios para compreender a dinâmica do lago e o processo de eutrofização.

A frequência de amostragem foi decidida com a finalidade de verificar a sazonalidade do processo de eutrofização do lago Barigui. As datas das campanhas estão na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – DATAS DAS CAMPANHAS

CAMPANHA	DATA
1º Campanha	23/04/2008
2º Campanha	18/06/2008
3º Campanha	30/09/2008
4º Campanha	03/12/2008

As coordenadas geográficas dos pontos de coleta são apresentadas na Tabela 3.2. A Figura 3.2 apresenta a localização destes pontos.

TABELA 3.2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

PONTO DE COLETA	LATITUDE	LONGITUDE	DESCRIÇÃO DO PONTO
P1	25°25'48.38" S	18°18'29.20" N	Próximo à entrada do rio Barigui no lago, predominância de características lóticás.
P2	25°25'48.45" S	18°18'29.20" N	Ponto no interior do lago, característica de ambiente lântico.

No ponto de coleta 1 (P1) foram realizadas amostragens da superfície da coluna d'água, e sedimento de fundo. No ponto de coleta 2 foram amostrados a lâmina d'água superficial (P2A), amostras a 0.5 m abaixo da lâmina (P2B) com o

auxílio de uma garrafa do tipo Van Dorn e o sedimento com a draga tipo Petersen modificada.

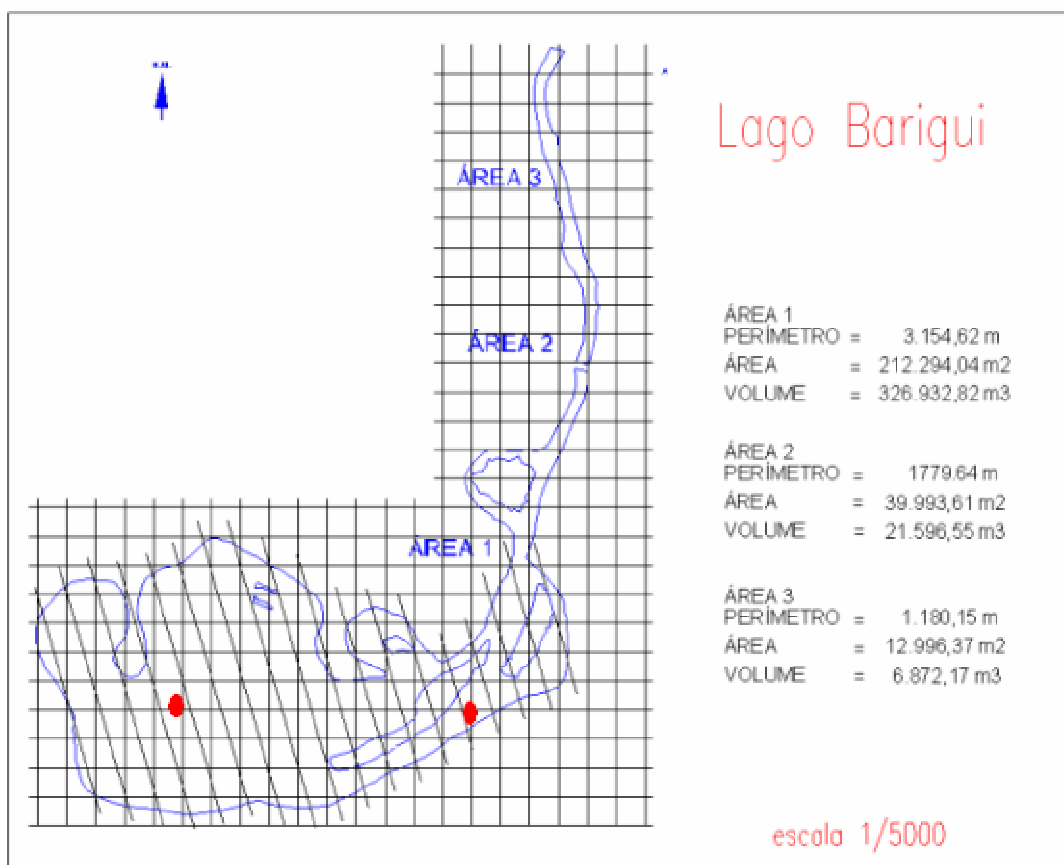


FIGURA 3.2 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE COLETA

Fonte: Adaptado de Oliveira e Silva, 2002.

As amostras de água para as análises de clorofila-*a*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico dissolvido (COD), nitrato, nitrito, turbidez e emissão de fluorescência foram armazenadas em garrafas âmbar sem preservante. As amostras para a análise dos parâmetros demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, fósforo reativo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e série de sólidos foram armazenadas em garrafas plásticas de 1 L e preservadas com 1 mL de ácido sulfúrico p.a. O sedimento foi coletado em sacos plásticos e congelado.

Os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 3.3.

A análise da correlação dos resultados obtidos nas análises dos parâmetros de qualidade da água e sedimento foram realizadas com o auxílio do software Statística 6.0.

TABELA 3.3 – PARÂMETROS ANALISADOS DURANTE O MONITORAMENTO

PARÂMETRO	MÉTODO	APARELHO
COLUNA D'ÁGUA:		
Espectroscopia Ultravioleta-Visível	Leitura em espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)
Carbono orgânico dissolvido	Método de combustão à alta temperatura; SHIMADZU, 2003)	Equipamento analisador de carbono orgânico (marca Shimadzu, modelo TOC-Vcph)
Condutividade	Leitura direta em $\mu\text{S/s}$	Condutivímetro (marca Wissenschaftlich – Technische Werksstalten GmbH & CoKG)
Clorofila-a	Extração com acetona 90%. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)
Demanda bioquímica de oxigênio	Leitura direta no sensor do Oxitop	Oxitop (marca Wissenschaftlich – Technische Werksstalten GmbH & CoKG, modelo Oxitop IS 6)
Demanda química de oxigênio	Refluxo Aberto. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	
Fluorescência	Foram obtidos espectros de emissão (excitação em 314 e 370 nm); de excitação (emissão em 520 nm); de varredura sincronizada ($\Delta\lambda = 18 \text{ nm}$) e os de matriz excitação-emissão, com varredura de 200 a 500 nm de excitação e de 300 a 600 nm de emissão. Todos os espectros de fluorescência foram obtidos aplicando-se 240 nm min ⁻¹ , fenda de 5 nm, cubeta de quartzo de 1 cm e água Milli-Q como branco.	Equipamento Fluorescence Spectrophotometer F-4500, marca Hitachi
Fósforo reativo	Método colorimétrico do ácido ascórbico <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)
Fósforo total	Digestão com persulfato de potássio e ácido sulfúrico. Método colorimétrico do ácido ascórbico. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)
Nitrato	Redução com Cádmio <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	
Nitrito	Método da sulfanilamida e N-(1-0Naftil) etilenodiamina <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	
Nitrogênio orgânico	Macro-Kjeldhal <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA,1998)	

TABELA 3.3 – PARÂMETROS ANALISADOS DURANTE O MONITORAMENTO (CONTINUAÇÃO)

Nitrogênio amoniacal	Macro-Kjeldhal <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA, 1998)	
Oxigênio dissolvido	Método Winckler <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA, 1998)	
pH	Leitura direta	Potenciométrico em pHmetro (marca Wissenschaftlich – Technische Werkstätten GmbH & CoKG, modelo 330i)
Profundidade do disco de Secchi	Leitura direta	
Sólidos dissolvidos fixos	Método gravimétrico	
Sólidos dissolvidos totais	Método gravimétrico	
Sólidos dissolvidos voláteis	Método gravimétrico	
Sólidos sedimentáveis	Método Cone Imhoff	
Sólidos suspensos fixos	Método gravimétrico	
Sólidos suspensos totais	Método gravimétrico	
Sólidos suspensos voláteis	Método gravimétrico	
Sólidos totais	Método gravimétrico	
Sólidos totais fixos	Método gravimétrico	
Sólidos totais voláteis	Método gravimétrico	
Temperatura da água		
Turbidez	Turbidímetro (marca Del Lab), modelo DLM – 2000	Leitura direta (NTU)
SEDIMENTO		
Conteúdo de Carbono	O teor de carbono orgânico do sedimento para cada uma das coletas foi determinado pelo quantificador de carbono do Laboratório de Inventário Florestal da UFPR, segundo os procedimentos sugeridos por Great Lakes National Program Office (2003).	Analizador de carbono orgânico em amostras sólidas (marca Ieco, modelo C-144)
Fósforo Inorgânico	Extração do fósforo biodisponível pelo método de Williams modificado por Cavalcanti e análise colorimétrica pelo método do ácido ascórbico (APHA, 1998).	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)
Fósforo Total	Extração do fósforo total após calcinação pelo método de Williams modificado por Cavalcanti e análise colorimétrica pelo método do ácido ascórbico (APHA, 1998).	Espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC)

As determinações analíticas necessárias para o cálculo do IET são descritas a seguir:

Fósforo total:

A análise para determinação das concentrações fósforo total foram realizadas em amostras de água bruta, sem filtração, por digestão em chapa de aquecimento de 100 mL da amostra com 0,5 g de persulfato de potássio e 1 mL de ácido sulfúrico. Após a digestão foram acrescentadas 4 gotas de fenolftaleína e procedida a titulação com hidróxido de sódio 5N até pH neutro. Em seguida, foram acrescentados 8 mL da mistura reacional, que produz cor azul, cuja leitura foi realizada em espectrofotômetro de luz visível (marca Shimadzu, modelo UV 1601PC).

Composição da mistura reacional:

- 50 mL de H_2SO_4 5N;
- 5 mL de Tartarato de Antimônio de Potássio;
- 15 mL de Molibdato de Amônia;
- 30 mL de solução de ácido ascórbico.

Por este método, o fósforo reage com molibdato em meio ácido para produzir um complexo de fosfomolibdato. O ácido ascórbico então reduz o complexo, originando uma intensa cor azul referente ao molibdênio.

Clorofila-a:

As amostras foram filtradas em membrana de fibra de vidro GF 50-A, 47 mm em bomba de vácuo em local protegido da luz, após a filtragem foi anotado o volume da amostra filtrada e a membrana foi armazenada em congelador, em envelope de papel laminado, por um período inferior a 20 dias em relação ao dia da coleta. As membranas das congeladas com o material resultante do processo de filtração das amostras, foram centrifugadas a 4000 rpm por 15 min; após serem maceradas até homogeneização com solução de acetona 90%. Após a centrifugação as amostras foram armazenadas em um recipiente protegido da luz e deixadas em repouso por 24 horas em refrigeração. Após este período foi realizada a leitura em espectrofotômetro, de acordo com o seguinte procedimento:

- 1ª leitura com a amostra simples, no comprimento de onda de 664 nm e 750 nm, para eliminar a interferência de outros compostos;

- 2ª leitura na mesma amostra, acrescentando-as 3 gotas de HCl 0,1 mol L⁻¹, com micropipeta, após 3 min da adição do HCl, para os comprimentos de onda de 665 nm e 750 nm.

Os valores das concentrações de clorofila-a foram obtidos por meio da Equação (12):

$$Cla(mg / m^3) = \frac{26,7x[664_b - 665_a]xV1}{V2xL} \quad (12)$$

em que:

664_b: Abs 664 – Abs 750

665_a: Abs 665 – Abs 750 (densidade óptica após a acidificação)

V1: volume do extrato (acetona)

V2: volume filtrado da amostra

L: caminho ótico da cubeta

3.2.2 Índice de estado trófico

A avaliação do grau de trofia do lago Barigui foi baseada no Índice do Estado Trófico. Para a determinação do IET foi utilizada a metodologia definida por Toledo em 1990 (CETESB, 1999) e modificada por Lamparelli (2004), cujo resultado é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo - IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila-a - IET(CLa). As equações 13 e 14 foram utilizadas para o cálculo do IET.

$$IET(CLa) = 10 \times \left(6 - \frac{(0,92 - 0,34 \times (\ln CLa))}{\ln 2} \right) \quad (13)$$

$$IET(PT) = 10 \times \left(6 - \frac{(1,77 - 0,42 \times (\ln PT))}{\ln 2} \right) \quad (14)$$

em que:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L⁻¹

CLa = concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em µg.L⁻¹

ln = logaritmo natural

Para a determinação deste índice foram adotados os estados de trofia ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, cujos limites, para lagos, para cada nível de trofia, são apresentados na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO SEGUNDO O ÍNDICE E CARLSON MODIFICADO PARA LAGOS E RESERVATÓRIOS

Estado Trófico	Critério	Secchi – S (m)	P-total (mg PO ₄ ³⁻ /m ³)	Clorofila-a (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	Cla ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < Cla ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < Cla ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < Cla ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < Cla ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < Cla

Fonte: Adaptado de Cetesb (2006)

Para a determinação do IET, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, pois este nutriente atua como o agente causador do processo. A avaliação correspondente à clorofila-a, IET(Cla), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas no corpo aquático.

Devido à possibilidade de diferentes classificações, para a análise dos dois parâmetros, deve ser calculado o IET Médio, que é calculado pela média aritmética entre os resultados do IET (PT) e IET (Cla) conforme a Equação (15).

$$IET = \frac{IET(PT) + IET(CLa)}{2} \quad (15)$$

Deve-se considerar que em um corpo hídrico, no qual o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido, o estado trófico determinado pelo índice da clorofila-a coincidirá com o estado trófico determinado pelo índice do fósforo. Já nos corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência, o índice relativo à clorofila-a irá refletir este fato, resultando em um estado trófico em um nível inferior àquele determinado pelo índice do fósforo.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES E CLOROFILA-*a*

As concentrações determinadas para os parâmetros fósforo total nos três pontos de coleta, nas quatro campanhas, foram superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, impõe, para ambientes lênticos com tempo de residência de 2 a 4 dias e águas de classe 2, a concentração de fósforo total menor ou igual a 0,025 mg/L P. O fósforo reativo dissolvido, também apresentou concentrações elevadas.

Para o ponto P1, localizado próximo à entrada do rio Barigui no lago, as concentrações fósforo dissolvido reativo foram elevadas nas quatro campanhas. Esta forma de fósforo está ligada a introdução de esgoto e carreamento pela drenagem superficial de áreas agrícolas.

Apenas na 1ª e 2ª campanhas ocorreu precipitação pluviométrica significativa (12,8 e 38,6 mm) durante os cinco dias que antecederam a coleta, entretanto as concentrações durante a 3ª e 4ª campanha também foram elevadas, o que indica que o fósforo dissolvido reativo tem sua origem principalmente de fontes pontuais. A Figura 4.1 apresenta as concentrações das formas fósforo no P1.

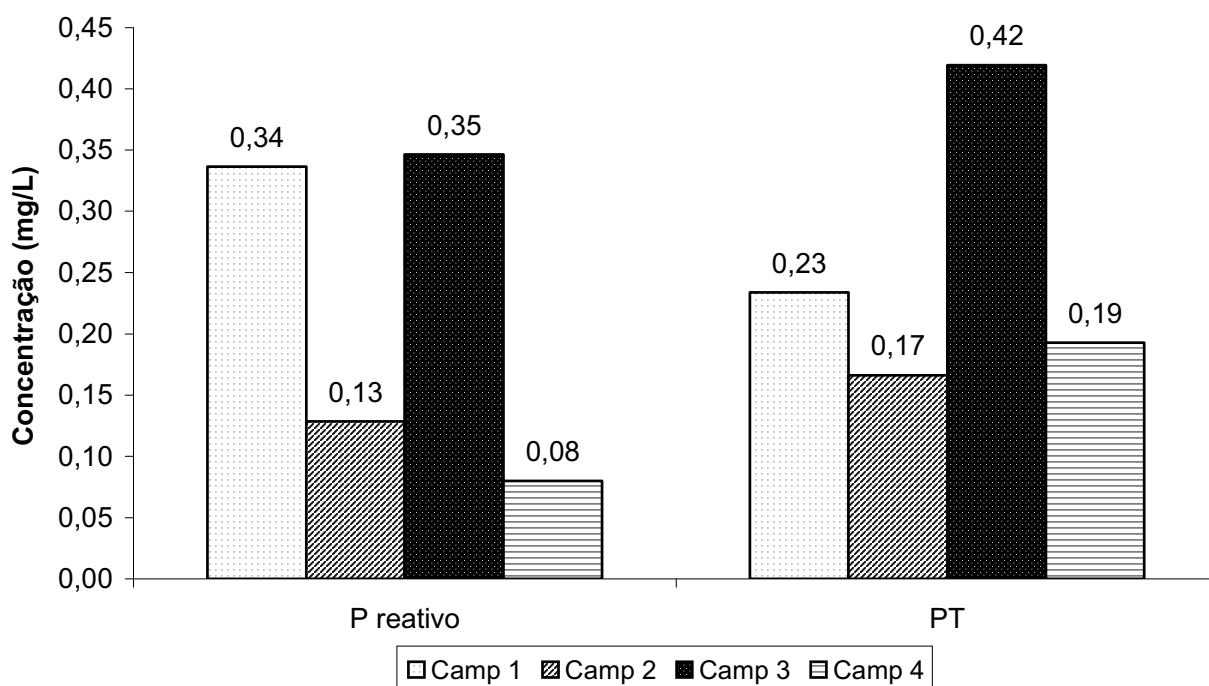


FIGURA 4.1 – FORMAS DE FÓSFORO NO P1

Legenda: P reativo (Fósforo reativo dissolvido), PT (Fósforo total)

Como pode ser observado na Figura 4.1, a concentração de fósforo total na 1ª campanha foi inferior à forma dissolvida. Isto pode ter sido decorrente dos procedimentos analíticos ou possíveis erros relacionados à contaminação da vidraria, ao preparo de reagentes e aferição e calibração dos equipamentos. Desta forma, pode-se considerar que a forma dissolvida de fósforo seja aquela que apresenta o valor correto de concentração, pois apresenta menor possibilidade de erro analítico por não ser necessária a digestão da amostra.

O ponto P2A, localizado no interior do lago, apresentou resultados da superfície da coluna d'água. As concentrações neste ponto, para as quatro campanhas, foram inferiores às do ponto P1, o que pode ser justificado pelo efeito de mistura e diluição do lago. Embora os valores no ponto P2A sejam inferiores aos do P1, da mesma forma estão acima da concentração especificada na Resolução CONAMA nº 357/05. Os valores referentes à terceira campanha apresentaram concentração superior às demais, como foi observado para o P1. A Figura 4.2 apresenta os valores das concentrações de fósforo total e fósforo reativo dissolvido para as quatro campanhas.

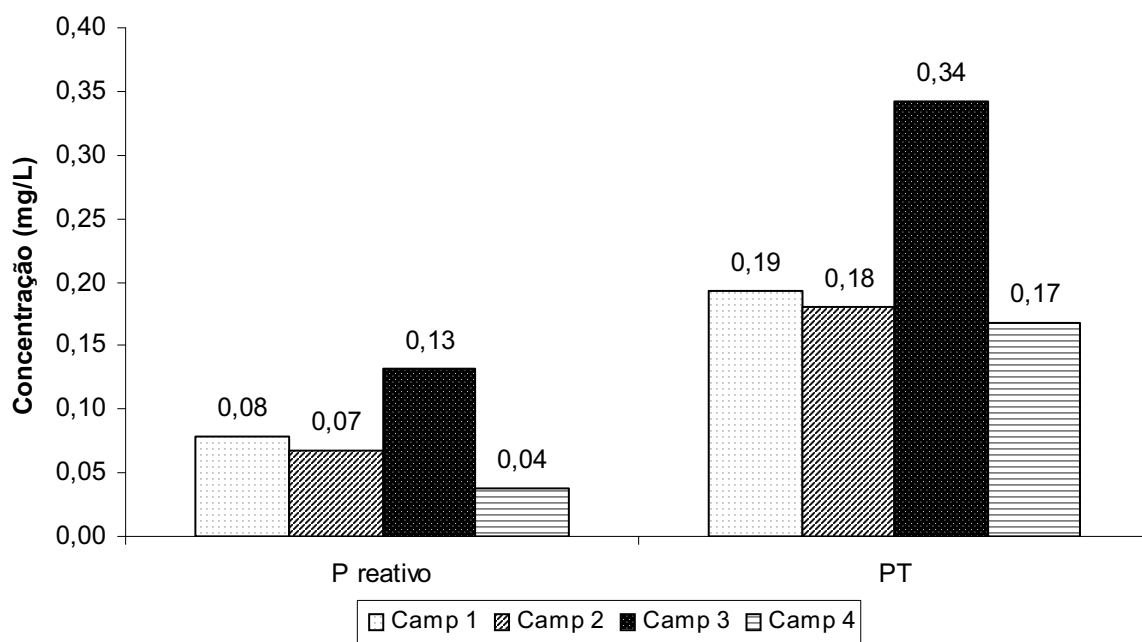


FIGURA 4.2 – FORMAS DE FÓSFORO NO P2A

Legenda: P reativo (Fósforo reativo dissolvido), PT (Fósforo total)

Para o ponto P2B, os resultados para a concentração de fósforo total na coluna d'água foram superiores aos do P2A. Estes resultados podem ser justificados pela liberação de fósforo pelo sedimento e/ou sedimentação. Os resultados para o

fósforo dissolvido reativo, indicam que há fontes pontuais que contribuem com a concentração dessa espécie no sistema, provavelmente introdução clandestina de esgotos, o que será discutido ainda neste Capítulo. A Figura 4.3 apresenta os resultados das concentrações de fósforo total e fósforo dissolvido reativo no P2B para as quatro campanhas.

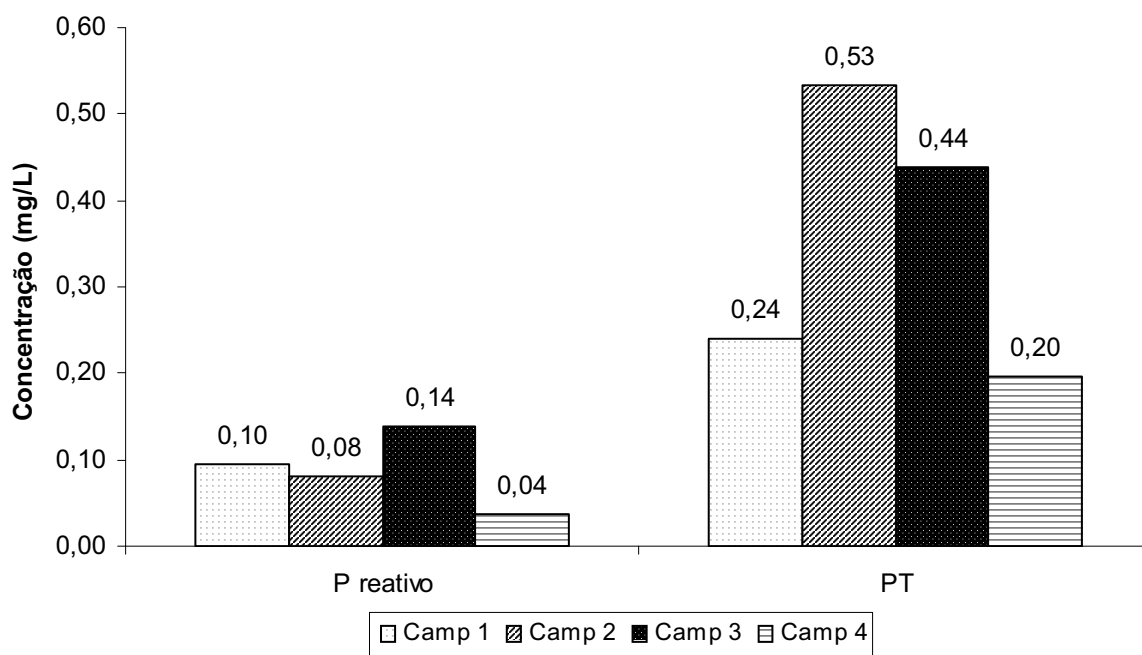


FIGURA 4.3 – FORMAS DE FÓSFORO NO P2B

Legenda: P reativo (Fósforo reativo dissolvido), PT (Fósforo total)

As baixas concentrações de fósforo dissolvido reativo no sistema, em comparação ao fósforo total no P2B, pode ser devido ao consumo pela biomassa presente, uma vez que, este ponto apresentou as concentrações mais elevadas de clorofila-a durante as campanhas, conforme apresentado a seguir.

Além das concentrações de espécies de fósforo na coluna d'água, também foram analisadas espécies de nitrogênio, quantificando a disponibilidade deste nutriente como alimento para a biomassa fitoplanctônica e macrófitas aquáticas.

Para as quatro campanhas realizadas, nos três pontos de coleta, as concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal foram baixas e abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05.

Na 3ª campanha, o ponto P1 apresentou concentrações de nitrogênio amoniacal superiores em relação às demais, concentrações que podem ser provenientes de fontes pontuais como despejos clandestinos de esgoto *in natura* no lago. A Figura 4.4 apresenta os valores de concentração medidos no ponto P1.

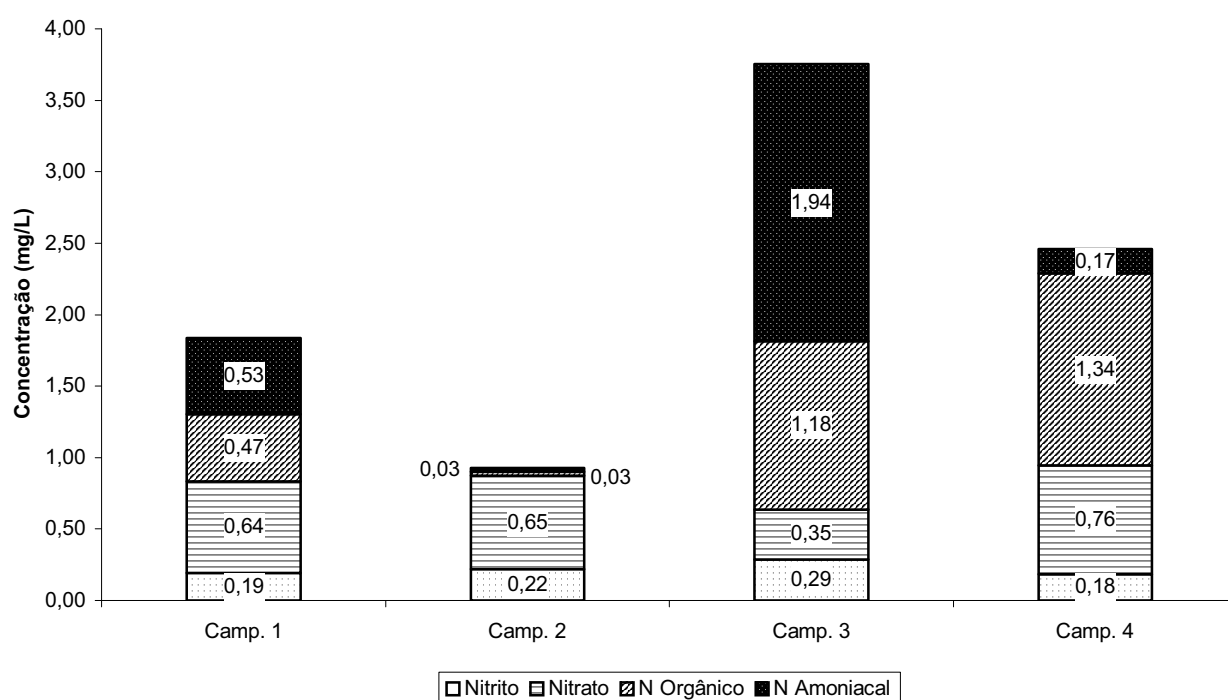


FIGURA 4.4 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P1

As concentrações das formas de nitrogênio encontradas no lago Barigui podem ter origem de despejos clandestinos de esgoto no lago. A Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, realizou um levantamento de campo para o Plano de Despoluição Ambiental (PDA), no qual verificou que, em um raio de 200 metros, que corresponde a 780 lotes, há lotes que estão em situação irregular, isto é, não interligados à rede de esgoto e conseqüentemente, há possibilidade de despejos clandestinos no rio Barigui e seu lago conforme a Figura 4.5 apresenta, e nessa situação estão englobados os terrenos, como lotes residenciais, lotes vagos, em construção, terrenos baldios, dentre outros. Tal afirmativa foi ratificada por meio de visitas, em que foi evidenciado o lançamento de esgoto sanitário no rio Barigui, devido à existência de galerias de águas pluviais e tubulações clandestinas lançando, direta ou indiretamente, no lago (Hardt *et al.*, 2007).

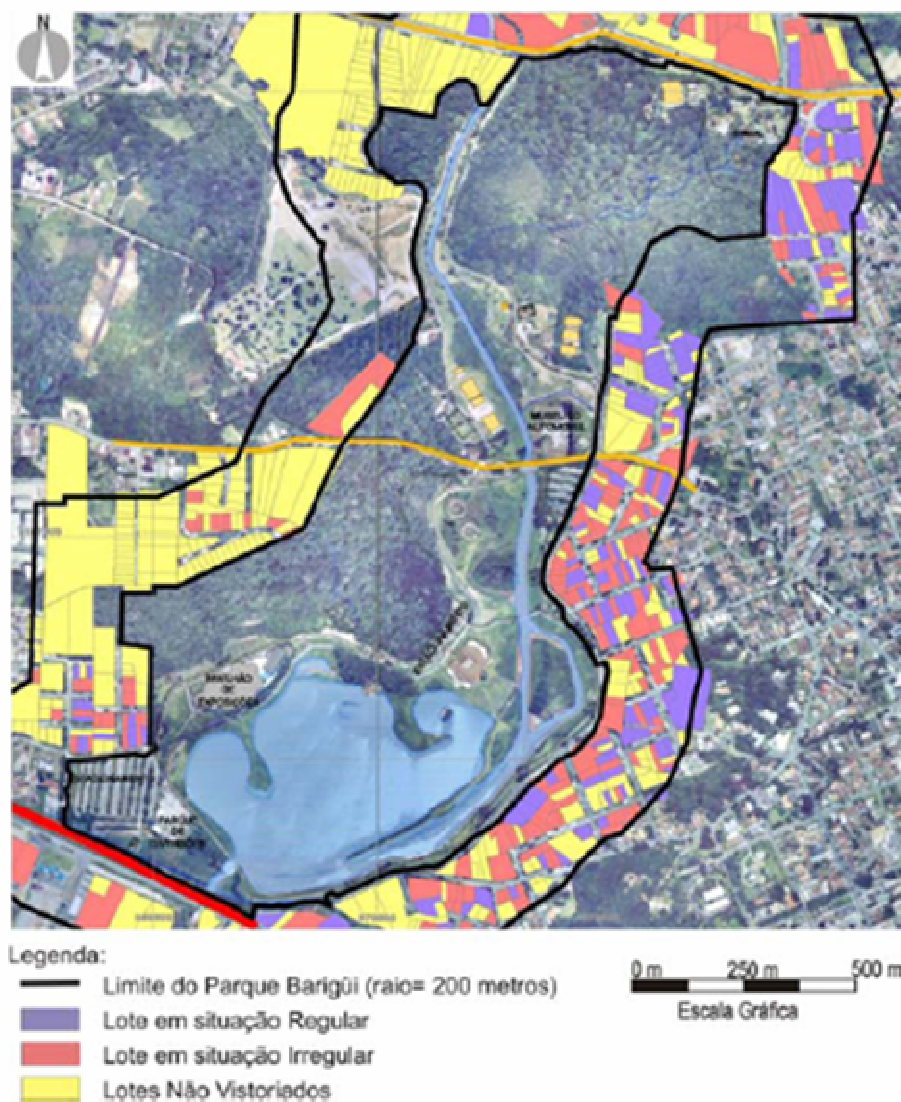


FIGURA 4.5 – CARTA DA SITUAÇÃO (REGULAR E IRREGULAR) DAS LIGAÇÕES DE ESGOTO DOS LOTES DO ENTORNO DE 200 METROS DO PARQUE BARIGÜI

Fonte: Hardt *et al.* (2007)

Na terceira e quarta campanhas, o ponto P2A apresentou valores elevados para as concentrações de nitrogênio orgânico, enquanto que, os valores de nitrogênio amoniacal foram inferiores. Nestas campanhas também foi observado um aumento da concentração de biomassa em relação às demais, podendo indicar o consumo do nitrogênio na forma amoniacal pelo fitoplâncton. As altas concentrações de nitrogênio orgânico resultantes das coletas realizadas na 3ª e 4ª campanhas podem ser devidas ao lançamento de esgotos no lago, estabilização da matéria orgânica e produção e decomposição da biomassa. A Figura 4.6 apresenta as

concentrações das espécies de nitrogênio para as quatro campanhas, coletadas no ponto P2A.

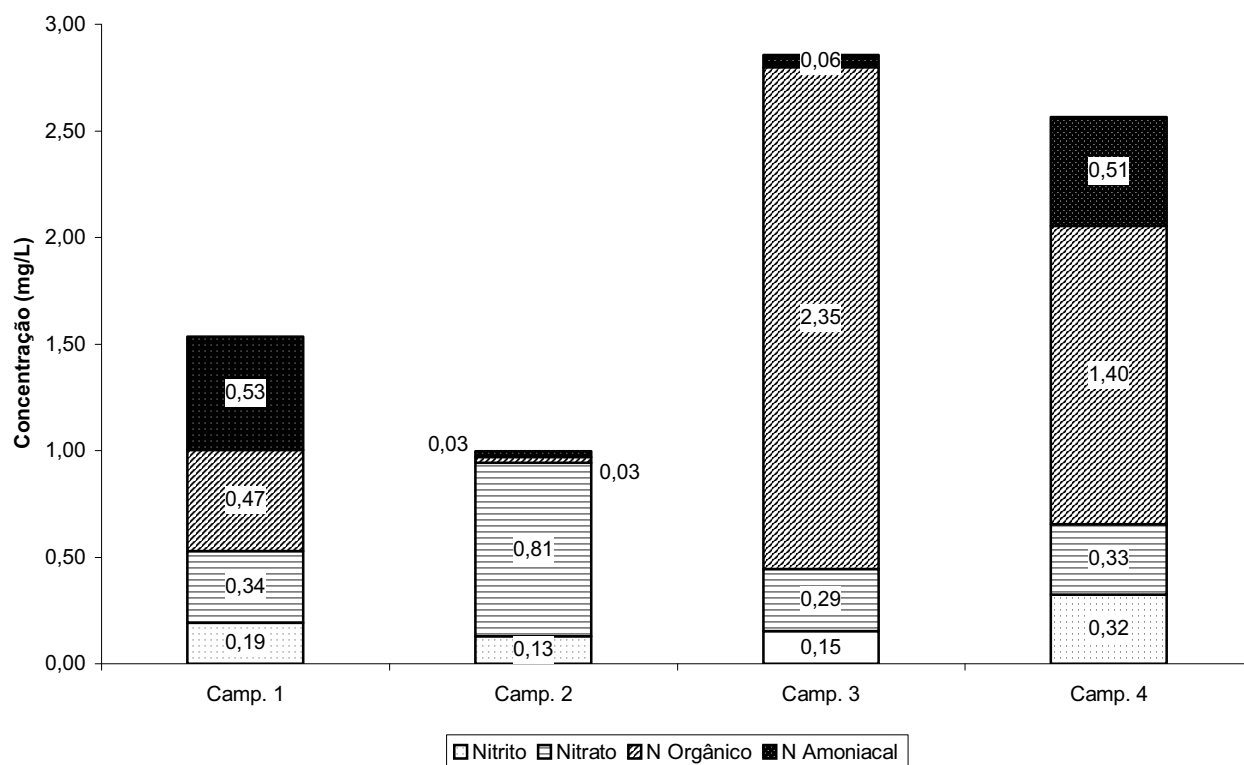


FIGURA 4.6 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P2A

Na primeira campanha, o P2B apresentou uma concentração de nitrogênio amoniacal maior em relação às demais campanhas (0,53 mg/L de $N-NH_3$). A concentração de nitrogênio amoniacal encontrada nesta campanha pode representar o produto final da decomposição da matéria orgânica oriunda da produção primária no lago. As concentrações elevadas de nitrogênio orgânico identificadas na 3ª e 4ª campanhas, em relação às demais, como também observado no ponto P2A, podem ser devido a: contribuição por esgotos, estabilização da matéria orgânica, produção e decomposição da biomassa. A Figura 4.7 apresenta as concentrações das formas nitrogenadas analisadas no ponto P2B.

A elevada disponibilidade de nutrientes determinadas pelas análises das formas de fósforo e nitrogênio podem estimular o crescimento de fitoplâncton e conseqüentemente, causar a eutrofização do lago. A estimativa do crescimento da biomassa foi realizada a partir da análise de clorofila-a. O crescimento do fitoplâncton não ocorreu de forma uniforme durante o período de estudo apesar da

alta disponibilidade de nutrientes, principalmente fósforo na coluna d'água, o que pode indicar que há outros fatores inibindo o desenvolvimento da biomassa.

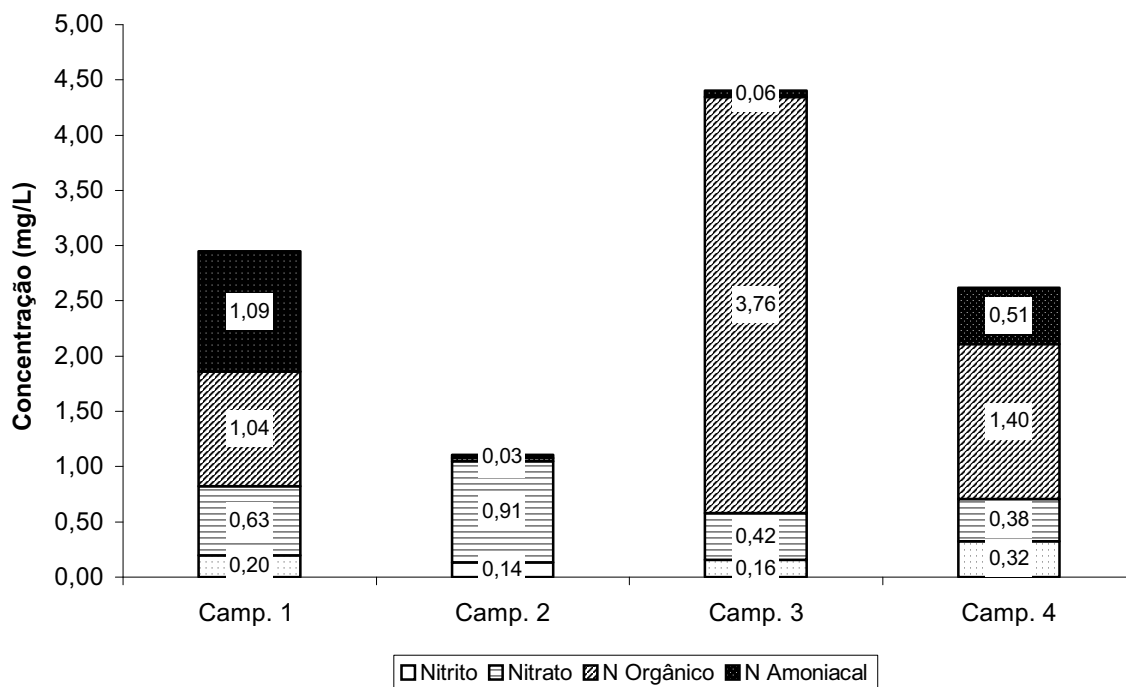


FIGURA 4.7 – FORMAS DE NITROGÊNIO NO P2B

De acordo com os dados apresentados na Figura 4.8, pode-se observar que no ponto P1 não houve crescimento significativo de biomassa fitoplanctônica, tendo sido determinada a concentração mínima de 0,14 $\mu\text{g/L}$ (primeira campanha) e a máxima de 0,42 $\mu\text{g/L}$ (segunda campanha). O baixo crescimento de fitoplâncton nesta área do lago provavelmente deve-se às características hidráulicas, ambiente lótico, com correnteza e à baixa profundidade da coluna d'água, que variou de 0,50 m, na 1ª campanha, a 0,70 m, na 3ª campanha.

O ponto P2A, localizado no centro do lago, apresentou resultados diferentes aos encontrados no P1. Este ponto, possui características de ambiente lântico e profundidade maior da coluna d'água, que variou de 1,10 m, na 2ª campanha, a 1,50 m na 1ª campanha. As concentrações dos nutrientes também foram elevadas, para o fósforo total (0,18 mg/L a 0,34 mg/L), fato observado nas quatro campanhas, e para o nitrogênio orgânico (2,35 mg/L), observado na 3ª campanha. Nesta campanha, também foi observada a maior concentração de biomassa (10,22 $\mu\text{g/L}$ de clorofila-a). É importante ressaltar que a concentração de 10,22 $\mu\text{g/L}$ está acima do

limite estabelecido para corpos aquáticos classe 2 pela resolução CONAMA 357/05 que tem como limite 10 µg/L e segundo Wetzel (1983), ambientes aquáticos com concentração acima de 10 µg/L de clorofila-*a* podem ser considerados como eutrofizados. Deve-se ressaltar que a 3ª campanha foi realizada na estação da primavera, período em que o florescimento de algas ocorre naturalmente.

As análises do P2B, localizado abaixo 0,50 m da coluna d'água e em região lântica, apresentaram valores superiores para clorofila-*a* nas três primeiras campanhas em relação aos demais pontos de coleta. Estas características favorecem o crescimento e desenvolvimento de algas. Durante a terceira campanha foi constatado uma concentração de 34,79 µg/L de clorofila-*a*, podendo considerar que durante o período da primavera o lago Barigui apresentou-se como um sistema eutrofizado.

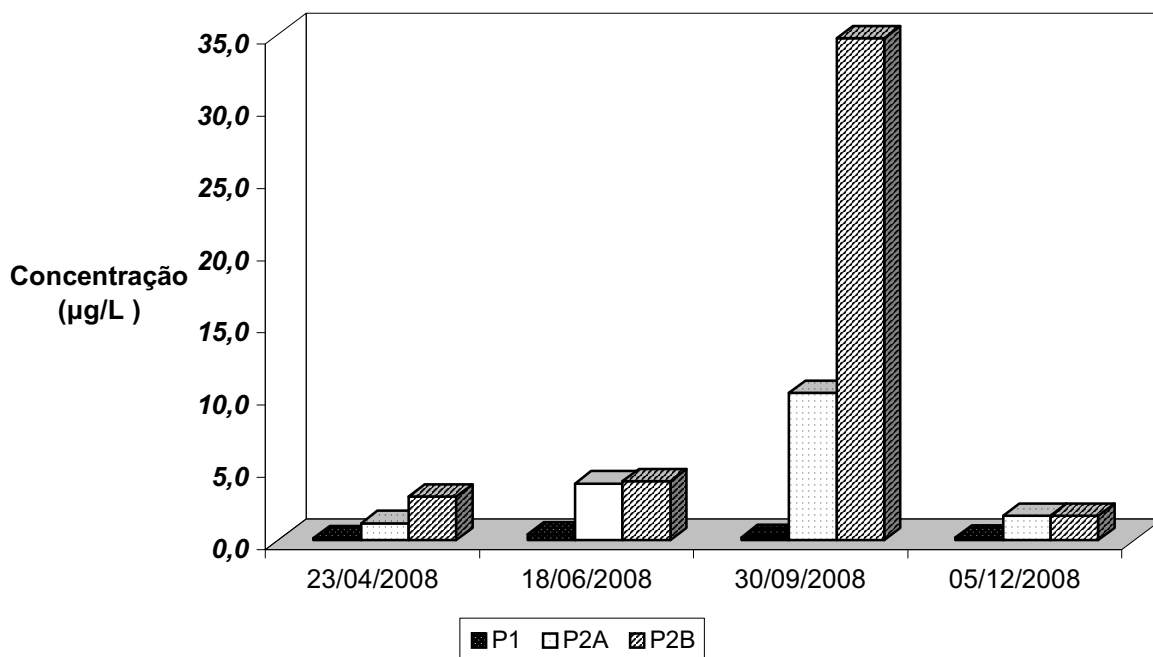


FIGURA 4.8 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-*a* NOS PONTOS DE COLETA

Os valores de produção primária refletem no consumo e na produção de oxigênio no sistema aquático. No período em que foram realizadas as coletas das amostras foi possível observar a partir da análise da concentração de oxigênio dissolvido e concentração de biomassa, representada pela clorofila-*a*, no ponto P2B, a sazonalidade dos períodos de produção primária e decomposição do lago, em termos de consumo oxigênio para estabilização da matéria orgânica e biomassa, e

produção de oxigênio. A Figura 4.9 apresenta o perfil da concentração de oxigênio dissolvido em relação à concentração de biomassa fitoplanctônica.

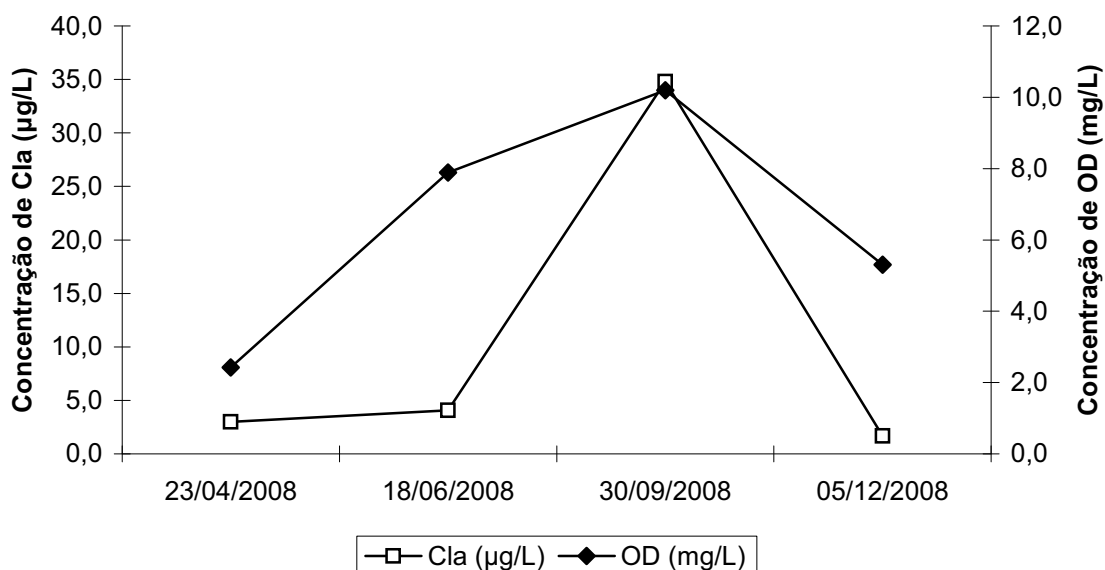


FIGURA 4.9 – PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE CLa NO P2B

Como pode ser observado, na 1ª campanha o valor de OD foi de 2,42 mg/L e a concentração de clorofila-a de 3,00 µg/L, sendo que, o aumento da concentração de OD acompanha o crescimento do fitoplâncton, atingindo os valores de 10,2 mg/L e 34,79 µg/L, respectivamente, na 3ª campanha. Foi possível observar que, provavelmente, entre os meses de dezembro a abril o lago esteve em período de decomposição no qual a produção de oxigênio é pequena, e seu consumo é elevado, devido aos processos de estabilização da matéria orgânica autóctone ou alóctone e respiração de seres vivos presentes no lago.

Como pode ser observado nas Figuras 4.9 e 4.10, tanto o ponto P2A como o P2B apresentaram valores de baixa concentração de oxigênio e biomassa durante a primeira e segunda campanha, e a produção de oxigênio, atingiu as maiores concentrações na 3ª campanha, que foi realizada em setembro de 2008, mês em que ocorreu o florescimento de algas no lago.

Entretanto, os perfis de oxigênio e do crescimento da biomassa no ponto P1 não permitiram identificar a sazonalidade, ao contrário do que foi observado nos pontos P2A e P2B. A Figura 4.11 apresenta o comportamento da concentração de OD e Cla durante as quatro campanhas.

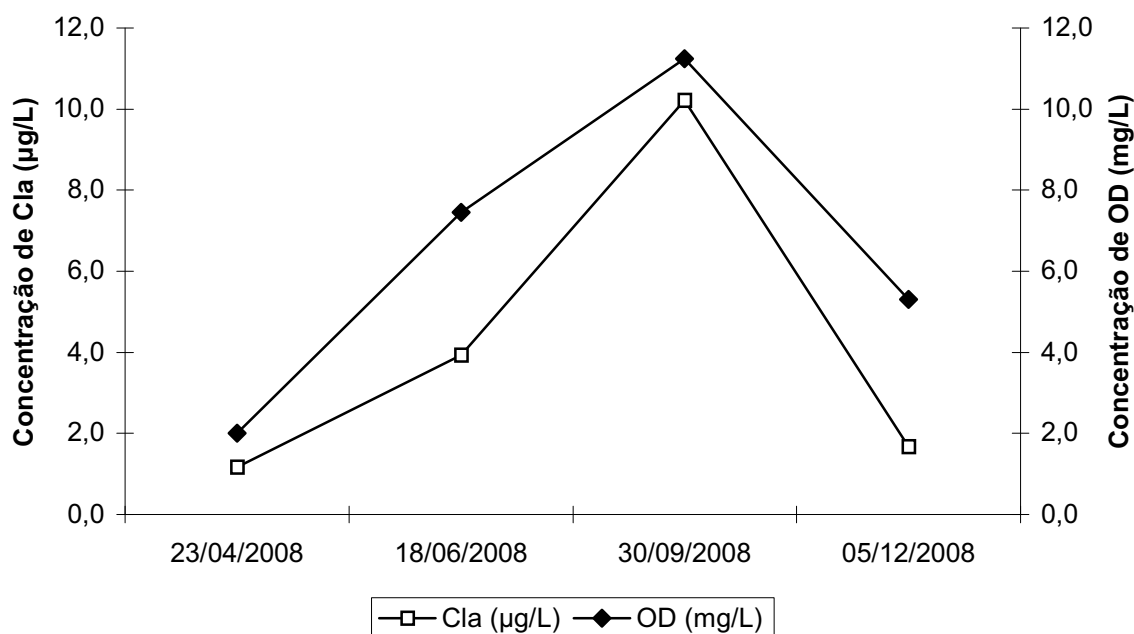


FIGURA 4.10 – PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE Cla NO P2A

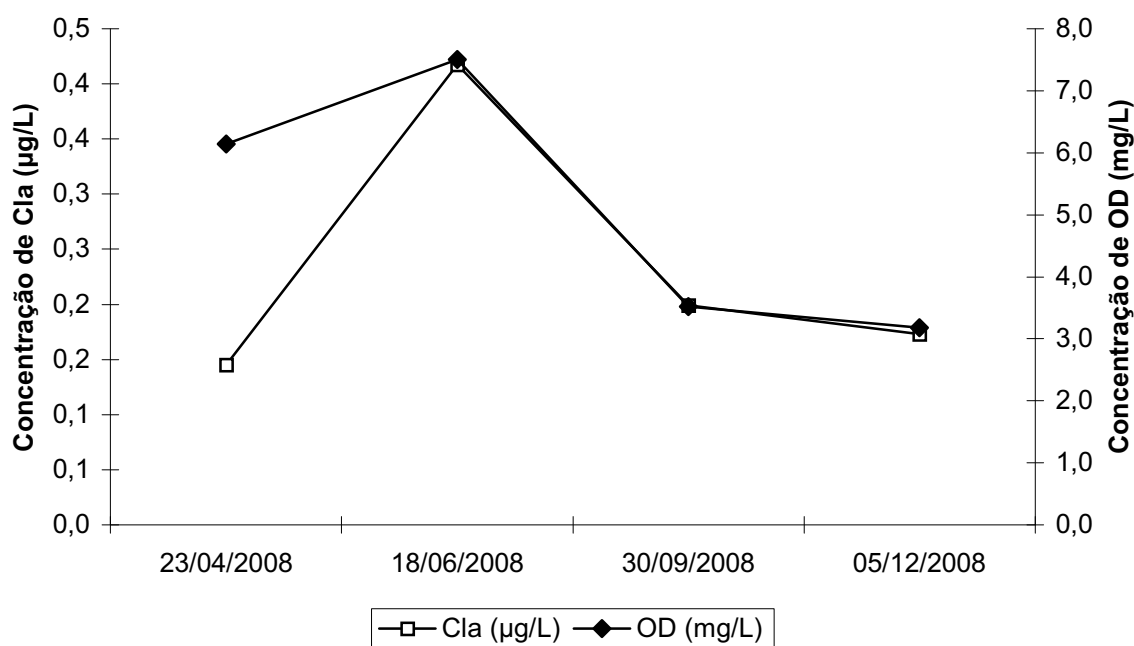


FIGURA 4.11– PERFIL DA CONCENTRAÇÃO DE OD EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DE Cla NO P1

Vários fatores contribuíram para que o ponto P1 possuísse um comportamento diferente dos pontos P2A e P2B, como, por exemplo, a

predominância, neste ponto, de ambiente lótico, com baixa profundidade, correnteza e suscetibilidade à ação de ventos.

4.2 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

Aplicando-se o as Equações 13 e 14, apresentadas no Capítulo 3 (Lamparelli, 2004), para cálculo do Índice do Estado Trófico, para as concentrações de fósforo total e de clorofila-a, foi possível determinar o nível trófico de cada ponto de coleta, para as quatro campanhas realizadas. Os valores foram interpretados de acordo com a classificação do estado trófico apresentada na Tabela 3.4.

O P1 apresentou-se, em relação à concentração de fósforo (IET-PT), com variação de Supereutrófico a Hipereutrófico. Entretanto, para o parâmetro clorofila-a, apresentou-se, nas quatro campanhas, como ultraoligotrófico. A Tabela 4.1. apresenta o estado de trofia do ponto P1 para as quatro campanhas.

TABELA 4.1 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P1 BASEADA NO IET

Ponto P1	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação	IET MÉDIO
Campanha 1	67	Hipereutrófico	42	Ultraoligotrófico	Mesotrófico
Campanha 2	65	Supereutrófico	42	Ultraoligotrófico	Mesotrófico
Campanha 3	71	Hipereutrófico	39	Ultraoligotrófico	Mesotrófico
Campanha 4	66	Supereutrófico	38	Ultraoligotrófico	Mesotrófico

Nota: Classificação de acordo com Lamparelli (2004)

Dos resultados apresentados na Tabela 4.1, pode-se observar uma elevada concentração de fósforo total disponível no sistema. Entretanto, embora existisse disponibilidade de nutrientes, não foi observado crescimento significativo de algas durante o período de desenvolvimento da pesquisa. O cálculo do IET Médio possibilitou classificar o sistema do lago Barigui, para os pontos de coleta, como mesotrófico. Esta categoria está relacionada a corpos aquáticos com produtividade intermediária, o que pode representar possíveis implicações sobre a qualidade da água, embora, na maioria dos casos, em níveis aceitáveis, devido a concentração de algas no sistema.

Os resultados do IET para o P2A são apresentados na Tabela 4.2. Da mesma forma que para o ponto P1, em função das elevadas concentrações de fósforo total, os resultados referentes ao IET(PT) classificaram o sistema nas categorias supereutróficas e hipereutróficas.

Em relação às concentrações de clorofila-a, o estado de trofia do ponto P2A, variou de ultraoligotrófico, na 1ª campanha, em abril de 2008, a mesotrófico, na 2ª e

3ª campanhas, em junho e setembro de 2008, respectivamente. Este crescimento de biomassa superior ao observado no ponto P1 pode ser devido, principalmente, às características do ponto de coleta.

TABELA 4.2 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P2A BASEADA NO IET

Ponto P2A	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação	IET MÉDIO
Campanha 1	66	Supereutrófico	47	Ultraoligotrófico	Mesotrófico
Campanha 2	65	Supereutrófico	53	Mesotrófico	Eutrófico
Campanha 3	70	Hipereutrófico	58	Mesotrófico	Supereutrófico
Campanha 4	65	Supereutrófico	46	Oligotrófico	Mesotrófico

Nota: Classificação de acordo com Lamparelli (2004)

Como os valores de clorofila-a do P2A foram superiores em relação ao P1, o cálculo do IET Médio resultou na classificação como Eutrófico, na segunda campanha, e Supereutrófico na terceira. Pode-se observar que, tanto no ponto P1 como no P2A, o cálculo do IET Médio possibilitou o enquadramento do lago Barigui em categorias tróficas que indicam a existência de interferências devido à presença excessiva de algas, fato que foi observado apenas no ponto P2A, na terceira campanha, quando foi identificada uma concentração de clorofila-a de 10,22 µg/L, concentração superior a 10 µg/L que é o limite inferior de um ambiente mesotrófico para eutrófico.

Em relação às quatro campanhas, o P2B apresentou valores para a concentração de clorofila-a superiores aos demais pontos de coleta, principalmente na terceira campanha, quando foi observado o período de florescimento de algas. Da mesma forma que ocorreu em relação aos pontos P1 e P2A, o cálculo do IET (PT) permitiu classificar o lago em categorias tróficas que indicam estados de eutrofização avançados, conforme apresentado na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO PONTO P2B BASEADA NO IET

Ponto P2B	IET (PT)	Classificação	IET (Cla)	Classificação	IET MÉDIO
Campanha 1	67	Hipereutrófico	52	Oligotrófico	Eutrófico
Campanha 2	75	Hipereutrófico	53	Mesotrófico	Supereutrófico
Campanha 3	71	Hipereutrófico	64	Supereutrófico	Hipereutrófico
Campanha 4	66	Supereutrófico	49	Oligotrófico	Mesotrófico

Nota: Classificação de acordo com Lamparelli (2004)

Na terceira campanha, o IET (Cla) apresentou como resultado o nível Supereutrófico. Corpos aquáticos que se enquadrem neste nível, apresentam como característica alta produtividade primária e associação a episódios de floração de algas. A concentração de clorofila-a nesta campanha foi de 34,79 µg/L. O aumento

da concentração do pigmento ocorreu durante a estação da primavera, período em que há maior crescimento e desenvolvimento natural das algas, devido às condições propícias como luz e temperatura.

Como não houve limitação por fatores ambientais como temperatura da água (18,3°C) ou baixa transparência da coluna d'água (0,40 m), a níveis que fossem inibidores do desenvolvimento da biomassa, o índice relativo à clorofila-*a* mostrou sensibilidade no enquadramento da categoria trófica.

Com exceção da quarta campanha, o cálculo do IET Médio, referente ao P2B, possibilitou o enquadramento do sistema em níveis eutróficos devido ao IET (PT), embora não tenha havido o desenvolvimento de algas na mesma proporção da concentração de nutriente no sistema.

A avaliação dos resultados dos cálculos do IET (PT) e do IET (Cla), para os pontos P1, P2A e P2B, para as quatro campanhas, possibilitou observar que o sistema não se encontra com o processo de eutrofização estabelecido, uma vez que, os estados tróficos indicados pelo IET (PT) não coincidem com IET (Cla), exceto no P2B na terceira campanha.

Dessa forma, a afirmação de que o lago Barigui encontra-se eutrofizado permanentemente, deve ser feita com cautela, uma vez que, o sistema apresentou florescimento de algas apenas no período da primavera.

Um fator que pode estar limitando o crescimento das algas em outros períodos do ano é a relação nitrogênio total/fósforo total. A partir desta relação pode-se verificar qual deles é o nutriente limitante para o crescimento, assim, aplicando o critério definido por Thomann e Mueller (1987), para lagos pequenos com predominância de fontes pontuais, como é o lago Barigui, se a razão $N/P < 10$ a limitação ao crescimento das algas é fornecida pelo nitrogênio. A Tabela 4.4 apresenta a relação N/P para análises referentes às quatro campanhas de coleta de amostras.

Desta forma, analisando a relação N/P, pode-se deduzir que, para o período do estudo, isto é, de abril a dezembro de 2008, o ambiente do lago Barigui foi limitado, principalmente, pelo nitrogênio e que, a limitação por fósforo, ocorreu na quarta campanha, para os três pontos de coleta e, na primeira campanha no ponto P2B. Esta limitação por fósforo, pode ser devido ao consumo pela biomassa no sistema. Dever ser salientado que a limitação por nitrogênio também foi observada nos estudos de Villa (2005).

TABELA 4.4– RELAÇÃO N/P

Campanha	Ponto de coleta	Nitrogênio total	Fósforo total	N/P
1	P1	1,8376	0,2339	7,8
2		0,9281	0,1662	5,6
3		3,7522	0,4193	8,9
4		2,4574	0,1926	12,7
1	P2A	1,5338	0,1927	7,9
2		0,9978	0,1799	5,5
3		2,8565	0,3418	8,3
4		2,5649	0,1961	13,1
1	P2B	2,7531	0,2390	11,5
2		0,9707	0,5336	1,8
3		4,2458	0,4376	9,7
4		2,6191	0,1961	13,3

Um dos fatores que podem explicar a limitação por fósforo na quarta campanha é o florescimento de algas que ocorreu na terceira campanha, devido à necessidade de consumo de nutrientes para o aumento da população de fitoplâncton.

Apesar da abundância de fósforo no sistema e deste nutriente ser considerado, normalmente, o limitante para o florescimento de algas em águas interiores, no caso do lago Barigui, foi observado que o nitrogênio é o nutriente limitante e, portanto, para que seja possível reduzir e/ou evitar o processo de eutrofização, o aporte deste nutriente ao sistema do lago deve ser impedido. Para isso, é necessário identificar possíveis lançamentos de esgoto *in natura* a montante do lago ou mesmo no seu interior.

4.3 ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO

4.3.1 Espectroscopia UV-Vis

Foram analisados as absorbâncias obtidas nos comprimentos de onda 254 nm e 285 nm, além dos espectros normalizados pela concentração do COD. A absorbância no comprimento de 254 nm é utilizada por apresentar forte correlação com o COD. A Tabela 4.5 apresenta os valores UV_{254} obtidos no período de estudo e a Figura 4.12 os espectros de absorção UV_{254} .

TABELA 4.5 – VALORES DE ABSORBÂNCIA EM 254 NM PARA OS DIFERENTES PONTOS E COLETAS (U.A.)

Ponto de Coleta			
Coleta	P1	P2A	P2B
23/04/2008	0,056	0,088	0,075
18/06/2008	0,081	0,091	0,098
30/09/2008	0,066	0,070	0,069
05/12/2008	0,082	0,096	0,085

De acordo com os valores de absorvância UV_{254} determinados para as quatro campanhas não foi possível observar efeito de sazonalidade em relação à matéria orgânica presente no sistema do lago.

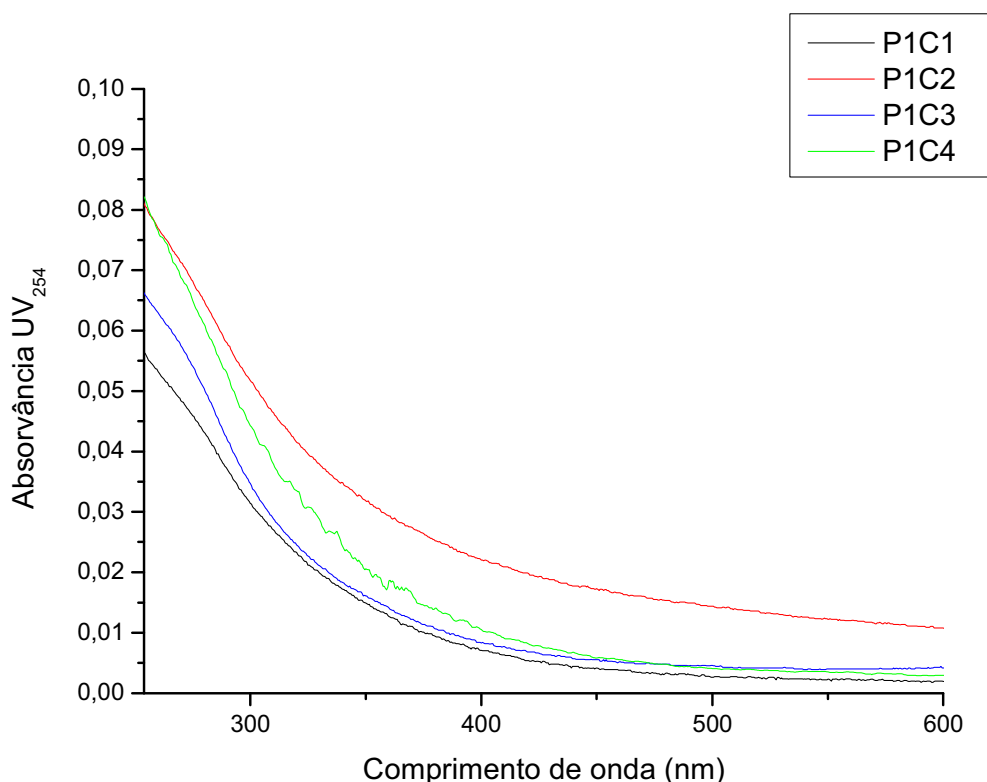


FIGURA 4.12 – ESPECTROS DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO ULTRAVIOLETA VISÍVEL DO LAGO BARIGUI

Legenda: P1 – Ponto de coleta, C1 – Campanha 1, C2 – Campanha 2, C3 – Campanha 3, C4 – Campanha 4

A normalização dos espectros de absorção pela concentração do COD ($SUVA_{254}$), isto é, a divisão dos valores do absorvância em 254 nm pela concentração de COD (mg/L), permitiu avaliar as possíveis fontes da matéria orgânica introduzidas no lago. Estudos realizados por Westerhoff e Anning (2000), mostraram que valores de $SUVA_{254}$ próximos de 1,2 mg/L indicam a presença de matéria orgânica de origem autóctone (biomassa) ou efluentes industriais e/ou

domésticos, enquanto, valores próximos a 4,4 mg/L indicam presença de ácidos fúlvicos.

Para a primeira e segunda campanhas, os valores de $SUVA_{254}$ variaram de 0,385 (P2BC1) a 2,040 (P2AC2), conforme apresentado na Tabela 4.6. De acordo com Westerhoff e Anning (2000), estes valores indicam predominância de matéria orgânica de origem autóctone no lago Barigui ou de efluentes domésticos. Deve ser salientado que, resultados semelhantes foram observados por Villa (2005). A Figura 4.13 apresenta os espectros do P2A normalizado pelo COD.

TABELA 4.6 – ABSORTIVIDADE DA $SUVA_{254}$ ($L\ mg^{-1}\ M^{-1}$) DO LAGO BARIGUI

Ponto de Coleta			
Coleta	P1	P2A	P2B
23/04/2008	-	0,630	0,385
18/06/2008	0,875	2,040	1,765
30/09/2008	0,834	1,238	0,991
05/12/2008	0,834	0,953	0,806

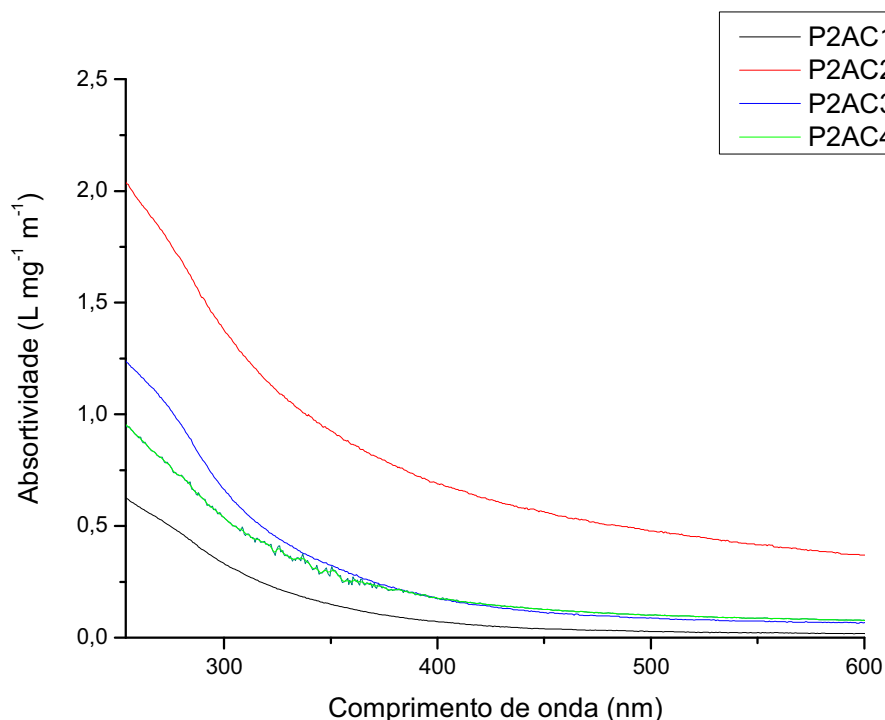


FIGURA 4.13 – ESPECTROS DE ABSORTIVIDADE DO LAGO BARIGUI

Legenda: P2 – Ponto de coleta, C1 – Campanha 1, C2 – Campanha 2, C3 – Campanha 3, C4 – Campanha 4

Entretanto, alguns autores (Chen *et al.*, 2002; Artinger *et al.*, Brookman, 1997) sugerem utilizar outros valores de absorbância para caracterizar a presença do

carbono orgânico dissolvido (COD). Segundo Rostan e Cellot (1995) a razão A_{285}/COD (g/L) fornece um indicativo da composição do COD, quando o valor da razão for menor do 10 g/L, indica predomínio de carbono alifático, isto é, de cadeia normal, enquanto a razão próxima de 20 g/L, indica predomínio de ácidos fúlvicos. Os valores da razão A_{285}/COD (g/L) são apresentados na Tabela 4.7.

TABELA 4.7 – RAZÃO A_{285}/COD (g/L)

Ponto de Coleta			
Coleta	P1	P2A	P2B
23/04/2008	-	4,30	2,77
18/06/2008	6,62	16,04	13,18
30/09/2008	5,81	8,77	6,97
05/12/2008	5,68	6,64	5,54

Como pode ser observado na Tabela 4.7, a concentração de matéria orgânica no lago apresentou-se próxima ou abaixo de 10 g/L, dessa forma pode-se deduzir que haja predominância de matéria orgânica proveniente de atividade antrópica, como lançamento de esgoto doméstico, que não absorve luz na região do ultravioleta visível ou de fonte autóctone.

Outras relações também podem ser utilizadas para caracterizar a origem do carbono orgânico dissolvido, como por exemplo a análise de picos no comprimento de onda 280 nm, representada por A_{280} , aplicada por Brookman (1997); a razão E3/E4, utilizada por Artinger *et al.* (2000) e Chen *et al.* (2002), cuja utilidade está relacionada à caracterização da origem do carbono orgânico, entretanto, estas análises não produziram resposta significativa devido à complexidade do sistema.

4.3.2 Fluorescência

A análise de fluorescência, como a da absorbância na região ultravioleta visível, permite identificar características sobre a matéria orgânica dissolvida, como sua principal fonte (alóctone/autóctone). Westerhoff e Anning (2000) utilizaram a análise de fluorescência para caracterizar concentrações de carbono orgânico dissolvido, por meio de espectros de emissão, aplicando o comprimento de onda de excitação de 370 nm e de emissão de 450 nm.

Um dos indicadores do espectro de fluorescência é o comprimento de onda do pico do espectro em 450 nm, denominado PW. Se os valores de PW forem menores do que 450 nm indica fonte autóctone ou esgotos, enquanto para valores

de PW maiores do que 450 nm, fonte alóctone. A Tabela 4.8 apresenta os valores do PW obtidos para o lago Barigui e a Figura 4.14 os espectros de emissão.

TABELA 4.8 – VALORES DO COMPRIMENTO DE ONDA DO PICO MÁXIMO DE EMISSÃO DO ESPECTRO COM EXCITAÇÃO EM 370 nm

Coleta	Ponto de Coleta		
	P1	P2A	P2B
23/04/2008	448,0	448,8	437,0
18/06/2008	444,0	442,4	445,8
30/09/2008	442,4	448,0	435,6
05/12/2008	449,6	443,6	444,4

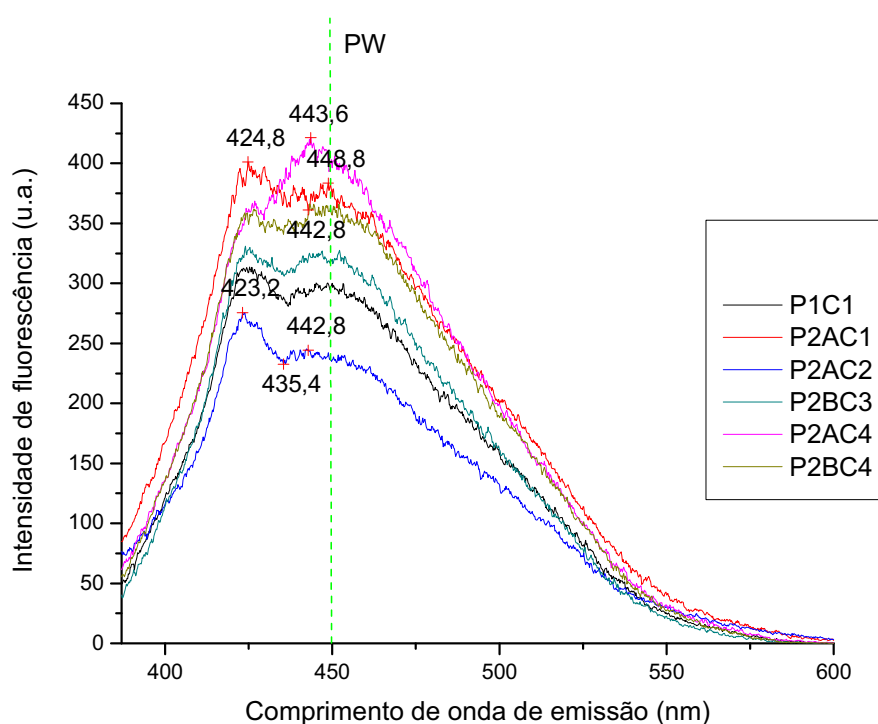


FIGURA 4.14 – ESPECTROS DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA PARA SETE AMOSTRAS E COLETAS, COM EXCITAÇÃO EM 370 nm

Como pode ser observado na Tabela 4.8, os valores de PW variaram de 435,6 a 449,6, o que indica a predominância de material autóctone ou presença de esgotos. Em relação ao ponto P1, para as quatro campanhas, a análise dos resultados permite deduzir que houve maior influência de esgoto, se forem considerados os valores das concentrações de nitrogênio amoniacal e orgânico (Anexo A), o que foi identificado pelo PW, não somente para o P1, mas para os pontos P2A e P2B.

Outra análise que pode ser conduzida a partir dos espectros de PW é a razão da intensidade de fluorescência emitida (FR), para os comprimentos de onda de 450 nm e 500 nm ($FR = IF_{450}/IF_{500}$), com excitação em 370 nm. Para esta análise, valores de FR maiores do que 1,8 indicam fonte autóctone e menores do que 1,5 indicam fonte alóctone (substâncias húmicas). A Tabela 4.9 apresenta os valores da razão FR.

TABELA 4.9 – RAZÃO ENTRE A INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA EMITIDA EM 450 nm E 500 nm, COM EXCITAÇÃO EM 370 nm

PONTO DE COLETA			
COLETA	P1	P2A	P2B
23/04/2008	1,9055	0,8607	1,9230
18/06/2008	1,8510	1,7856	1,9433
30/09/2008	1,9368	1,9280	1,9848
05/12/2008	1,8630	1,9865	1,8990
VALOR MÉDIO	1,8890	1,8902	1,9375
DESVIO PADRÃO	0,0395	0,0866	0,0363

A análise dos resultados apresentados na Tabela 4.9 permite classificar o sistema como predominantemente autóctone ou provavelmente com influência de esgoto doméstico. Assim, os resultados obtidos para FR permitem deduzir que o sistema apresenta as mesmas características referentes à origem da matéria orgânica que à razão A_{285}/COD e $SUVA_{254}$, Tabelas 4.6 e 4.7, respectivamente.

A análise dos espectros sincronizados permite inferir características da matéria orgânica referente a sua fonte. Os picos de espectro sincronizado situados entre 270 nm e 310 nm indicam a presença de proteínas (Peuravuori *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2003). Resultados de Peuravuori (2002), identificaram que os picos são provenientes da emissão de fluorescência de moléculas de aminoácidos aromáticos ou ácidos voláteis, contendo estruturas alifáticas com ligações conjugadas, que estão presentes em esgotos ou carbono autóctone do sistema. A Figura 4.15 apresenta os espectros de fluorescência dos pontos de coleta.

Como apresentado na Figura 4.15, pode-se observar que os pontos de coleta apresentam picos entre 270 nm e 310 nm, nas quatro campanhas, o que caracteriza a presença de substâncias provenientes do esgoto doméstico ou material de origem autóctone. Os resultados obtidos pela análise dos espectro sincronizados foram coerentes com os obtidos pelo A_{285}/COD e $SUVA_{254}$, FR e o PW.

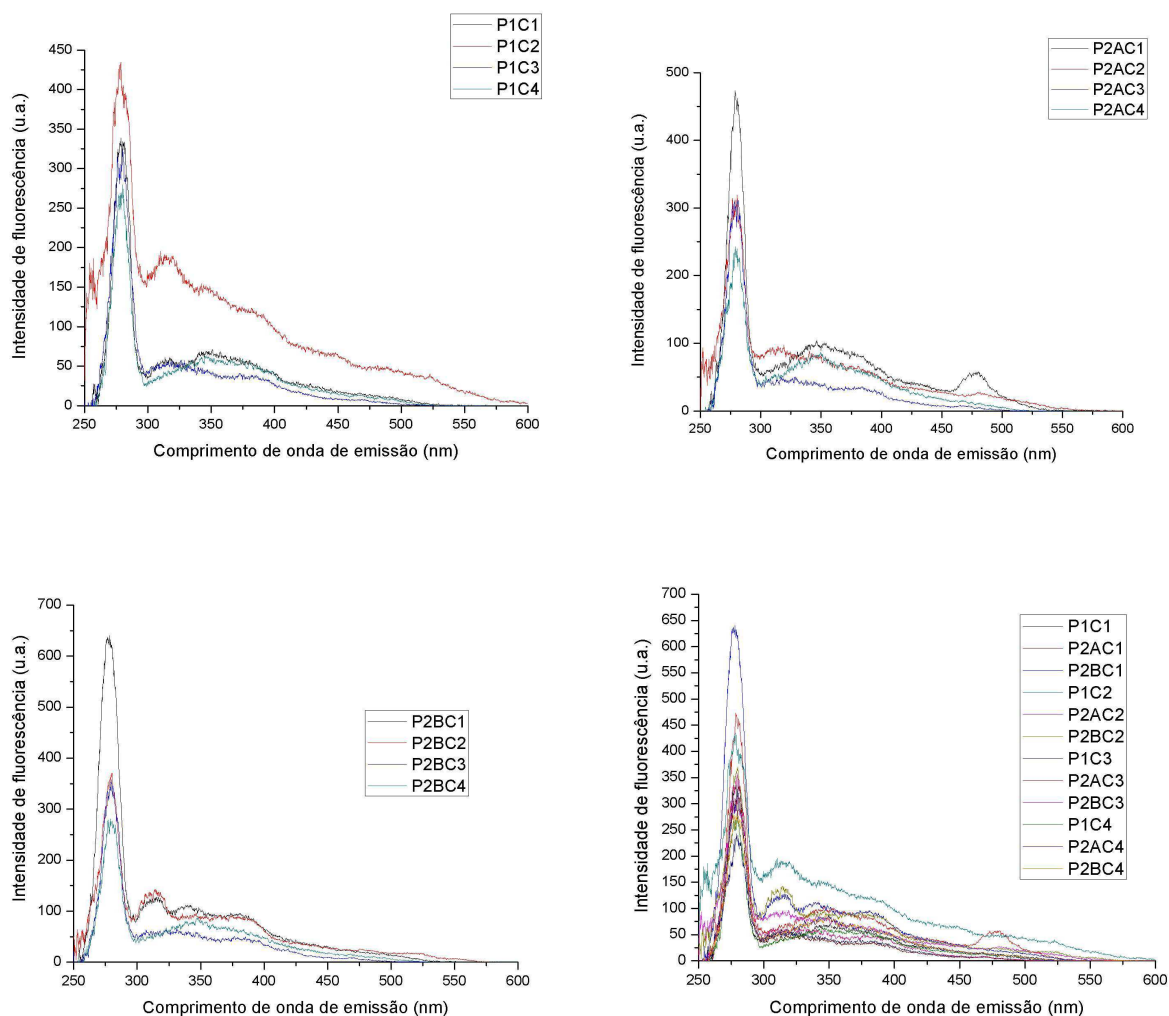


FIGURA 4.15– ESPECTROS SINCRONIZADOS DE FLUORESCÊNCIA

Também por meio da análise dos espectros sincronizados, normalizados pelo COD, foi possível observar classes distintas da matéria orgânica. De acordo com Peuravuori *et al.* (2002), os picos situados entre os comprimentos de onda de 450 nm e 500 nm indicam a presença de ácidos fúlvicos, enquanto picos em comprimentos acima de 500 nm indicam a presença de substâncias húmicas.

Como pode ser observado na Figura 4.16, foram identificados picos na faixa de 330 nm a 348 nm, podem estar relacionados a naftalenos e seus derivados (Peauvuori *et al.*, 2002). A presença destes compostos pode ser devido à contaminação por compostos derivados de petróleo oriundos de atividades em postos de combustíveis da região do lago Barigui. A presença de substâncias denominadas hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), como o naftaleno, correspondem à menor fração presente no petróleo. Estes compostos destacam-se

por serem estáveis e persistentes no meio ambiente, podendo apresentar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos. Além de descartes pontuais, uma das hipóteses para a presença de naftalenos e seus derivados na água do lago Barigui pode ser o arraste pela drenagem de resíduos de óleo e combustíveis, pois na segunda campanha, nos quatro dias que a antecederam, ocorreu precipitação pluviométrica de 38,6 mm, de acordo com dados da estação Curitiba (código 02549075), localizada no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Desta forma, a ocorrência de precipitação pode ter contribuído com o carreamento destes compostos para o lago Barigui. A Figura 4.16 apresenta os espectros sincronizados normalizados pelo COD.

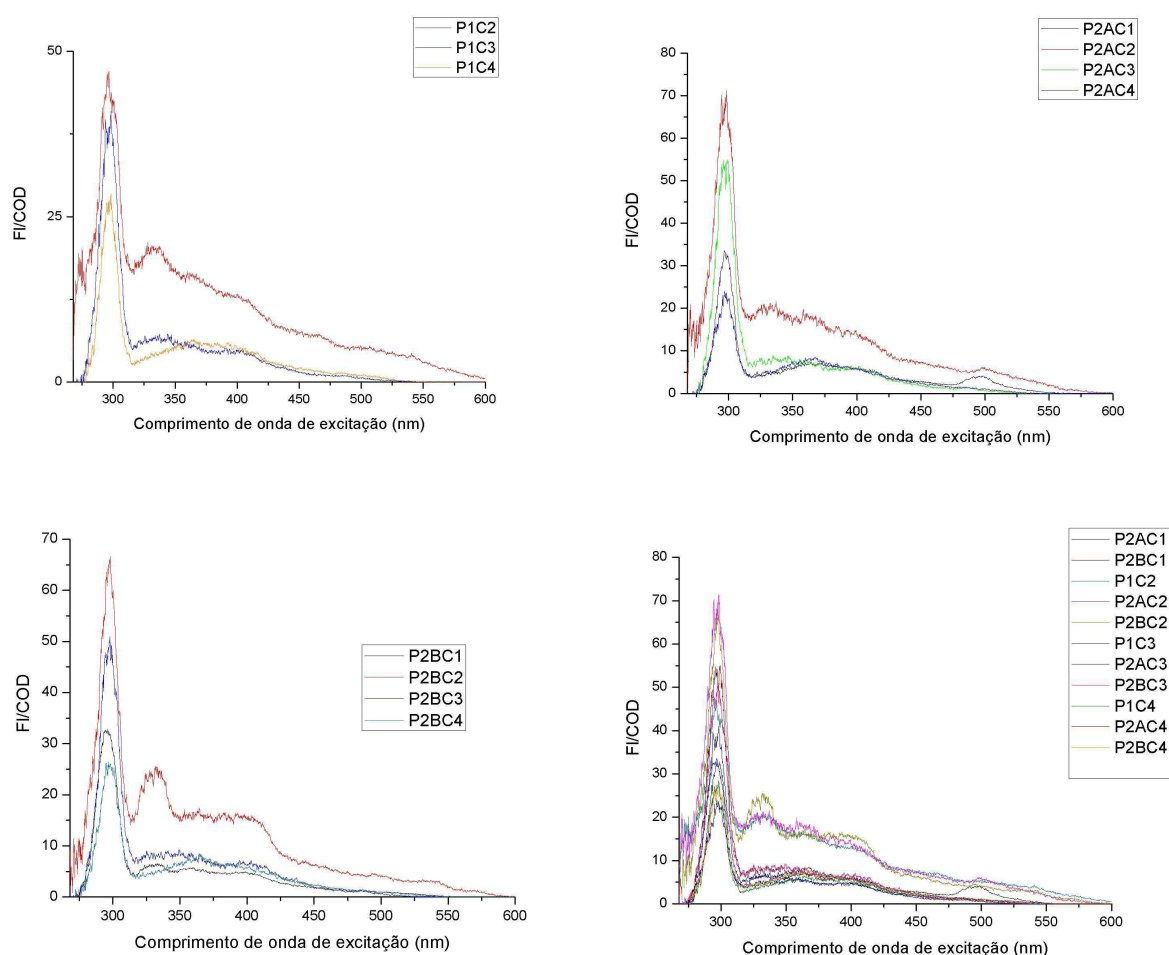


FIGURA 4.16 – ESPECTRO SINCRONIZADO NORMALIZADO PELO COD
($\Delta=18$ nm)

4.4 SEDIMENTO

Para as quatro campanhas, foi determinado o conteúdo de carbono orgânico total (COT), fósforo total e fósforo inorgânico, no sedimento superficial nos pontos P1 e P2.

A matéria orgânica presente no sedimento pode influenciar na biodisponibilidade de metais na água e a sua concentração no sedimento é resultado, geralmente, processos autóctones, do aporte de material alóctone e despejos de efluentes líquidos industriais e esgotos. Os valores de COT, em porcentagem são apresentados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 – CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NO SEDIMENTO

COLETA	% de C P1	% de C P2
23/04/2008	2,89	0,42
18/06/2008	3,35	2,56
30/09/2008	0,81	3,33
05/12/2008	0,81	2,90
VALOR MÉDIO	1,97	2,24
DESVIO PADRÃO	1,34	1,29

Os valores de COT para o ponto P1, nas 1ª e 2ª campanhas, indicam a influência do aporte de sedimentos da bacia de drenagem a montante ao lago. No município de Curitiba, no período que antecedeu as duas coletas, foram medidas precipitações pluviométricas de 12,8 mm e 36,6 mm, referentes a primeira e segunda campanhas, respectivamente. Na terceira e quarta campanha, os valores das concentrações de carbono orgânico total foram inferiores às duas primeiras. Este fato pode ser devido à dinâmica de transporte de sedimento no lago e à baixa precipitação pluviométrica, 3,6 mm e 6,2 mm; estudos realizados anteriormente por Villa (2005), haviam identificado as áreas propensas à sedimentação no lago Barigui, entretanto, devido à dragagem realizada no lago, durante o ano de 2007 até janeiro de 2008, os resultados obtidos não são comparáveis com os valores desta pesquisa.

Ainda de acordo com a Tabela 4.10, pode-se observar que o ponto P2 apresentou um acréscimo de matéria orgânica no período referente às três últimas campanhas, do que se pode deduzir que a região do ponto P2 é uma área favorável à sedimentação.

O fósforo presente no sedimento provém de fontes pontuais ou difusas que contribuem com este elemento na coluna d'água. Parte do fósforo que está dissolvido na água, por meio de processos físicos, químicos ou biológicos é adsorvido ou depositado no sedimento.

As análises de fósforo total e fósforo inorgânico no sedimento foram realizadas com o objetivo de verificar a disponibilidade deste elemento para assimilação em processos biológicos, principalmente para crescimento de fitoplâncton. As análises permitiram avaliar que há uma elevada concentração deste nutriente no compartimento sedimento, conforme apresentado na Tabela 4.11.

A elevada disponibilidade de fósforo, no compartimento sedimento, é um fator que contribui para o processo de eutrofização no lago Barigui, pois se as fontes pontuais e a carga aportada pela bacia de drenagem forem reduzidas ainda haverá nutriente para o desenvolvimento de fitoplâncton. A difusão do fósforo para a coluna d'água dependerá, então, da diferença de concentração entre sedimento e coluna d'água e da concentração de oxigênio no hipolímnio (Ferreira e *et al.*, 2005).

TABELA 4.11 – CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL E INORGÂNICO NO SEDIMENTO

PONTO E COLETA	P TOTAL ($\mu\text{mol/g}$)	P INORGÂNICO ($\mu\text{mol/g}$)	P ORGÂNICO ($\mu\text{mol/g}$)	PI/PT (%)
P1C1	53,50	60,35	-	-
P1C2	84,70	111,95	-	-
P1C3	63,40	44,36	19,04	19,04
P1C4	62,40	21,13	41,27	41,27
P2C1	19,30	51,20	-	-
P2C2	48,30	12,17	36,13	36,13
P2C3	73,72	58,99	14,73	14,73
P2C4	73,20	34,76	38,44	38,44

As concentrações de fósforo total e inorgânico também podem indicar se há interferências antrópicas no sedimento. Assim, se a relação entre fósforo inorgânico (PI) e fósforo total (PT) for de 60%, aproximadamente, o sedimento é considerado sem interferências antrópicas (Madureira *et al.*, 2004). Como pode ser observado na Tabela 4.11, as relações de PI/PT para o P1C3, P1C4, P2C2, P2C3 e P2C4 não foram próxima a 60%, sendo superiores ou inferiores, o que indica que o sedimento sofreu interferência de atividades antrópicas, provavelmente devido introdução de esgotos e apresenta-se como poluído, o que discorda dos resultados obtidos por Fröhner e Martins (2008), que obtiveram resultados próximos a 60%.

A relação PI/PT do P1C1, P1C2 e P2C1 não pode ser analisado porque houve erros na determinação analítica (concentração de fósforo inorgânico foi superior ao fósforo total).

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis analisadas no ambiente aquático podem ser físicas, químicas ou biológicas, de acordo com a necessidade da pesquisa. Correlacionar as respostas obtidas sem o auxílio de ferramentas estatísticas torna-se, em muitos casos, inviável. Assim, devido à complexidade do sistema, ou seja o Lago do Rio Barigui, o monitoramento da qualidade da água envolveu um elevado número de variáveis analisadas, como pode ser observado a partir dos resultados deste estudo.

Existem diversas formas de correlacionar os dados produzidos, desde correlações simples até análises multivariadas avançadas. Nesta pesquisa foi aplicada a análise de correlação de Pearson (r), que relaciona duas variáveis atribuindo valores de -1 a 1 . Quanto mais próximo de $+1$, maior será a correlação positiva entre as variáveis, enquanto, a maior proximidade de -1 , implica em correlação negativa, geralmente significando que a relação entre as variáveis é inversamente proporcional. Quando o valor de r for igual a zero, indica ausência de correlação.

Os coeficientes de Pearson segundo Crespo (1997) devem ser interpretados de acordo com as seguintes faixas:

- se $0,6 \leq |r| \leq 1$: as conclusões sobre as variáveis analisadas são significativas;
- se $0,3 \leq |r| < 0,6$: há correlação significativamente fraca entre as variáveis;
- se $0 < |r| < 0,3$: há correlação muito fraca entre as variáveis.

Deve-se observar que quando duas variáveis têm correlação positiva, significa que as variáveis crescem no mesmo sentido e quando a correlação é negativa, indica que o crescimento é inversamente proporcional (Mucelin, 2003).

A tabela estatística com a correlação de Pearson para os dados produzidos por esta pesquisa é apresentada no Anexo B. A correlação de Pearson (r) permitiu observar que houve correlações significativas entre alguns dos parâmetros analisados.

A DBO apresentou correlação significativa com diferentes parâmetros determinados, SST ($r = 0,969$, $p = 0,030$), SSF ($r = 0,811$, $p = 0,189$), e SSV ($r = 0,979$, $p = 0,020$), sendo as mais importantes com o fósforo dissolvido reativo ($r = 0,884$, $p = 0,116$) e com o nitrogênio amoniacal ($r = 0,999$, $p = 0,001$), indicando assim que a DBO, provavelmente é proveniente de esgotos domésticos.

O parâmetro clorofila-*a* apresentou correlação forte com o pH ($r = 0,954$, $p = 0,046$), OD ($r = 0,994$, $p = 0,006$), nitrogênio orgânico ($r = 0,991$, $p = 0,009$), fósforo total no sedimento ($r = 0,714$, $p = 0,286$), fósforo inorgânico no sedimento ($r = 0,803$, $p = 0,197$), e disco de Secchi ($r = -0,764$, $p = 0,235$). A correlação com OD demonstra a relação da produção primária e liberação de oxigênio (fotossíntese) durante os períodos de produção primária e decomposição no lago Barigui, meses de maio a novembro e dezembro a abril, respectivamente. A correlação da clorofila-*a* com a penetração da luz medida com o disco de Secchi apresentou a relação inversa entre os parâmetros. Portanto, quanto maior a profundidade do disco de Secchi, menor a concentração de clorofila-*a* e, da mesma forma, quanto maior a concentração de clorofila-*a*, menor a profundidade do disco de Secchi, devido ao fitoplâncton ser uma das causas da turbidez. A relação com as formas de fósforo no sedimento pode ser um indício da contribuição deste nutriente existente no sedimento para a coluna d'água e sua importância para o crescimento de biomassa fitoplanctônica e também decomposição da biomassa e incorporação de fósforo no sedimento.

A correlação negativa entre a clorofila-*a* e as formas de nitrogênio, nitrato ($r = -0,426$, $p = 0,533$), nitrito ($r = -0,505$, $p = 0,495$) e nitrogênio amoniacal ($r = -0,505$, $p = 0,001$), indicam que o nitrogênio não foi limitante ao crescimento da biomassa. Provavelmente o fator *luz* foi o limitante do crescimento do fitoplâncton, pois o lago Barigui é um lago raso. Embora a correlação tenha sido negativa, a limitação molar calculada pela relação de Thomann e Mueller (1987) é importante e não deve ser desconsiderada, pois apresenta qual o nutriente essencial que está em menor concentração no sistema para o consumo pela biomassa.

A concentração de fósforo total na coluna d'água correlacionou positivamente com a DBO ($r = 0,678$, $p = 0,0321$), com o nitrogênio amoniacal ($r = 0,672$, $p = 0,0328$); enquanto com a precipitação pluviométrica ($r = -0,959$, $p = 0,041$), com o COD ($r = -0,726$, $p = 0,274$), e com a A_{254} ($r = -0,885$, $p = 0,115$), a correlação foi negativa. A correlação entre o fósforo total e o COD indica que pode estar ocorrendo à interação

entre as substâncias húmicas e o fósforo, ocorrendo sua precipitação e, conseqüentemente, diminuição da concentração de fósforo na coluna d'água.

A correlação negativa do fósforo total com a precipitação pluviométrica indica que a poluição difusa a montante do lago e entorno da área do lago não é significativa, caso contrário, a correlação seria positiva, dessa forma, pode-se observar que o lago está “diluindo” a carga de fósforo aportada pelo escoamento superficial, sendo que, essa carga carregada para o lago esteja interagindo no meio e depositando-se no sedimento.

De forma similar ao fósforo total, o fósforo dissolvido reativo também apresentou correlação negativa com a precipitação pluviométrica ($r = -0,757$, $p = 0,243$). Por outro lado, a correlação com a DBO ($r = 0,884$, $p = 0,116$) e com o nitrogênio amoniacal ($r = 0,878$, $p = 0,121$) foram positivas, indicando que esgoto doméstico seja a provável fonte deste nutriente.

O nitrogênio orgânico apresentou correlação forte com o pH ($r = 0,921$, $p = 0,079$), OD ($r = 0,978$, $p = 0,021$) e clorofila-*a* ($r = 0,991$, $p = 0,009$), neste caso a contribuição desta forma de nitrogênio orgânico para a coluna d'água, no processo de estabilização da biomassa fitoplanctônica. Já o nitrogênio na forma amoniacal apresentou correlação significativa com a condutividade ($r = 0,940$, $p = 0,060$), disco de Secchi ($r = 0,889$, $p = 0,110$), DBO ($r = 0,999$, $p = 0,001$), DQO ($r = 0,907$, $p = 0,093$), fósforo dissolvido reativo ($r = 0,878$, $p = 0,121$), fósforo total ($r = 0,672$, $p = 0,328$), intensidade de fluorescência 314 nm para a emissão em 450 nm ($r = 0,872$, $p = 0,127$) e intensidade de fluorescência 370 nm para a emissão em 450 nm ($r = 0,947$, $p = 0,053$). A correlação entre o nitrogênio amoniacal e a condutividade, fósforo dissolvido reativo e fósforo total indicam a contribuição destes elementos a partir de descargas de esgoto e efluentes industriais, fato que também pode ser observado nas correlações com a DBO e DQO. O aumento na concentração do nitrogênio amoniacal apresentou correlação diretamente proporcional com o aumento da DBO e DQO.

O COD apresentou correlação forte com a precipitação pluviométrica ($r = 0,89$, $p = 0,110$), OD ($r = -0,80$, $p = 0,20$), clorofila-*a* ($r = -0,83$, $p = 0,167$), fósforo total ($r = -0,73$, $p = 0,274$), nitrogênio orgânico ($r = -0,78$, $p = 0,215$), STF ($r = -0,72$, $p = 0,281$) e fósforo inorgânico no sedimento ($r = -0,91$, $p = 0,086$). As correlações entre o COD e a precipitação pluviométrica e a turbidez estão associadas à presença de matéria orgânica carregada pelo escoamento superficial. A relação entre o COD e a clorofila-*a*

pode ser devida ao efeito inibidor do COD sobre a produção primária, pois reduz a passagem de radiação fotossinteticamente ativa, ou devido ao aumento da concentração de COD no período de chuvas, o qual está correlacionado ao período de decomposição.

A A_{254} correlacionou fortemente com a precipitação pluviométrica ($r= 0,89$, $p= 0,107$), COD ($r= 0,77$, $p= 0,234$) e com a turbidez ($r=-0,86$, $p= 0,143$). Portanto, a alteração da cor da água, resultante do carreamento de substâncias orgânicas, como substâncias húmicas, e inorgânicas, está relacionada à precipitação pluviométrica e à turbidez.

Os valores de correlação entre a intensidade de fluorescência em 370 nm e a emissão em 450 nm foram significativos com a condutividade ($r= 0,92$, $p= 0,083$), disco de Secchi ($r= 0,73$, $p= 0,268$), DBO ($r= 0,95$, $p= 0,049$), DQO ($r= 0,91$, $p= 0,089$), fósforo dissolvido reativo ($r=-0,97$, $p= 0,034$), fósforo total ($r=-0,77$, $p= 0,231$), nitrogênio amoniacal ($r= 0,95$, $p= 0,053$), ST ($r= 0,77$, $p= 0,229$), STF ($r= 0,78$, $p= 0,221$), SST ($r= 0,99$, $p= 0,01$), SSF ($r= 0,95$, $p= 0,048$), SSV ($r= 0,98$, $p= 0,018$), temperatura ($r= -0,88$, $p= 0,123$), A_{254} ($r= -0,66$, $p= 0,341$) e A_{285} ($r= -0,68$, $p= 0,324$). Assim, esta correlação indica como fonte principal a presença de esgotos conforme observado pelos valores do PW (Tabela 4.8), Fr e pelo espectro sincronizado.

CONCLUSÃO

Os resultados das análises realizadas nesta pesquisa permitiram concluir que:

- o parâmetro clorofila-a apresentou-se como extremamente útil no monitoramento da qualidade da água, é uma técnica rápida, de fácil execução e de baixo custo;
- a elevada concentração de fósforo total e fósforo dissolvido reativo na coluna d'água, e a sua forte correlação com a condutividade, DBO e DQO, pode ter como principal fonte o lançamento de esgoto doméstico, dessa forma deve ser considerado um plano de gerenciamento para evitar sua introdução no rio Barigui e seu lago;
- a correlação negativa entre o fósforo total e o fósforo reativo dissolvido com a precipitação pluviométrica indica que ocorre diluição deste nutriente no lago, o que colabora com a melhoria da qualidade da água do rio Barigui a jusante do lago;
- de acordo com a relação determinado por Thomann e Mueller (1987), o lago Barigui é limitado por nitrogênio e, assim, como o fósforo, a introdução deste elemento deve-se provavelmente à contribuição por esgotos doméstico e industriais;
- o resultado das correlações negativas de Pearson para a concentração de clorofila-a em relação às formas de nitrogênio permitiu observar que; embora este elemento seja o nutriente limitante ao crescimento, durante o período de realização desta pesquisa não foi o fator limitante, provavelmente a luz pode ter limitado o crescimento devido à profundidade do lago;
- durante a estação da primavera, por meio da concentração da clorofila-a, foi verificado florescimento de algas;
- os resultados da pesquisa permitiram identificar que provavelmente o período de decomposição no lago ocorre entre dezembro e abril e que a produção primária ocorre entre maio e novembro;

- os resultados das análises de fósforo total e fósforo inorgânico no sedimento permitiram identificar que existe elevada concentração deste nutriente, neste compartimento, disponível para a biomassa fitoplanctônica, o que pode postergar a recuperação do lago, se for reduzida a carga deste nutriente na coluna d'água;
- a aplicação do IET(PT), em relação às quatro campanhas, permitiu classificar o sistema em categorias que variavam de supereutrófico a hipereutrófico, enquanto o IET(Cla) variou de ultraoligotrófico a supereutrófico (P2B, 3ª campanha). Deve ser considerado que o sistema não se encontra em o processo de eutrofização plenamente estabelecido, pois os resultados das categorias tróficas do IET(PT) e IET(Cla) não coincidem. Apesar disso, a aplicação do IET mostrou-se como uma ferramenta eficaz e de fácil aplicação ao monitoramento da qualidade da água. Deve ser salientado que a aplicação do IET(Cla) foi de grande importância para avaliar o nível trófico durante o florescimento das algas, que classificado foi como supereutrófico no P2B na 3º campanha.

Uma das principais contribuições desta pesquisa, além dos resultados obtidos sobre a qualidade da água e processo de eutrofização no lago Barigui foi a implementação do método de análise do parâmetro clorofila-a no Laboratório de Engenharia Ambiental Borsari Neto – Labeam, que permitirá avaliar e colaborar em pesquisas futuras realizadas por outros alunos em ambientes aquáticos.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para maior compreensão da interação dos processos que ocorrem no lago Barigui recomenda-se para trabalhos futuros que seja realizado:

- o cálculo da retenção de fósforo no lado Barigui;
- a modelagem hidrodinâmica do lago Barigui;
- a modelagem do transporte de sedimentos do lago Barigui;
- a avaliação dos parâmetros toxicidade e coliformes termotolerantes; e
- a instalação de estação de medição de vazão e monitoramento de dados meteorológicos e;
- a avaliação das espécies de algas que ocorrem durante o florescimento na primavera quando o lago atinge níveis eutróficos.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WPC – American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th Ed., 1998.

ARTINGER, R.; BUCKAU, G.; GEYER, S.; FRITZ, P.; WOLF, M. & KIM, J.I. Characterization of groundwater humic substances: influence of sedimentary organic carbon. **Applied Geochemistry**. Vol. 15, p. 97-116, 2000.

BIGGS, B. J. F. Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. **Journal of the North American Benthological Society**. Vol. 19, nº 1, p. 17–31, 2000.

BRASILa. **Resolução CONAMA 357, 17 de março de 2005**. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2006. Disponível em [Http://www.mma.gov.br/conama](http://www.mma.gov.br/conama). Acesso em 12 de fev. de 2006.

BOERS, C.M.P.; VAN RAASPHORTS, W.; VAN DER MOLEN, D. T. Phosphorus Retention in Sediments. **Water Science and Technology**. Vol. 37, nº 3, p. 31-39, 1998.

BROOKMAN, S. K. E. Estimation of biochemical oxygen demand in slurry and effluents using ultra-violet spectrophotometry. **Water Research**. Vol 31(2), p. 372–374, 1997.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**. Vol. 22, p 361 – 369, 1977.

CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo – 1998**. São Paulo: 371 p, 1999.

CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo – 2005. Anexo V: Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo: 23 p, 2006.

CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo – 2006. Anexo V: Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo: 23 p, 2007.

CHAMEIDES, W., PERDUE, E. **Biogeochemical cycles**. London: Ed. Oxford University Press, 1997.

CHEN, J. et al. Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. **Chemosphere**. Vol. 48, p. 59–68, 2002.

CHEN, J.; LEBOEUF, E.J.; DAI, S. & GU, B. Fluorescence spectroscopic studies of natural organic matter fractions. **Chemosphere**. Vol. 50, p. 639-647, 2003.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. São Paulo: Saraiva, 14. Ed., 1999.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. São Paulo: Editora da CETESB, 1992.

DOODS, W. K., JONES, J. R., WELCH, E. B. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. **Water Research**. Vol. 32, nº 5, p. 1455-1462, 1998.

DOODS, W. K., WELCH, E. B. Establishing nutrient criteria in streams. **Journal of the North American Benthological Society**. Vol. 19, nº 1, p. 186 – 196, 2000.

ENRICH-PRAST, Alex. Caminhos do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais. **Lições de limnologia**. Cap. 12, Rima Editora, 2005.

EPPLEY, R. W. Temperature and phytoplankton growth in the sea. **Fishery Bulletin**. Vol. 70, pg 1063-1085, 1972.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1988.

FERREIRA, R. M., BARROS, N. O., DUQUE-ESTRADA, C. H., ROLAND, F. Caminhos do fósforo em ecossistemas aquáticos continentais. **Lições de limnologia**. Cap. 13. Rima Editora, 2005.

FILL, H. D., SANTOS, I. **Projeto PEN – 04 – Modelagem hidrológica e ambiental de bacias hidrográficas**. Relatório Final. Curitiba, 2002.

FLORES, J. C. Comments to the use of water quality indices to the verify of Córdoba city (Argentina) on Suquia river. **Water Research**. Vol. 36, p. 4664-4666, 2002.

FROEHNER, S., MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. **Química Nova**. Vol. 31, nº 8, p. 2020-2026, 2008.

FURTADO, M. G. **Variação temporal e espacial da presença de metais pesados (Cd, Cr, Ni, Pb e Zn) na Bacia do rio Barigui e identificação de suas fontes pontuais**. 151 p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

GASTALDINI, M. C. C.; SOUZA, M. D. S. **Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim através de Índices de Qualidade de Água**. 1º Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre, 1994.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. **Algae**. United State of America: Prentice Hall, 2000.

GREAT LAKES NATIONAL PROGRAM OFFICE. **Sampling and Analytical Procedures for GLNPO's Open Lake Water Quality Survey of the Great Lakes**. LG601-Standard Operation Procedure for Analysis of Total Organic Carbon in Sediments (Dry Combustion, IR Detection). [S.l.], march 2003.

HARDT, L. P. A., NAKAMURA, S. M., FERNANDES, V. B., PELLIZZARO, P. C., VIDAL, F. S., ARAZAKI, E. T., TANAKA, L. S., SALVADOR, T. S., MAGALHÃES NETO, A. T., LACERDA, A. E. B. de, POMPEO, R., CIGOLINE, A. A., BORGES, M. V. K., DUDEQUE, I. J. T., DOUSTDAR, N.M., MAOSKI, E. T., SALVI, L. T., SANCHES, A. L., AMARAL, J. Z., AIHARA, N., RIBEIRO, D. M., BANSHO, S. M., FUJJI, N., Y. **Plano de manejo do parque natural municipal Braigui**. Relatório Final, Curitiba, 2007.

HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO, FAPESP. 800 p., 1999.

HENRY, R.; TUNDISI, J.G.; CURI, P.R. Fertilidade Potencial em Ecossistemas Aquáticos: Estimativa através de Experimentos de Eutrofização Artificial. **Ciência e Cultura**. Vol. 35, nº 6, p. 789-800, 1983.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S; ESTEVES, F. A. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo Rio Doce, Linhares, Espírito Santo. **Revista Brasileira de Biologia**, n. 50, p.585-598, 1990.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Avaliação da presença de toxicidade aguda para *Daphnia magna* (Straus, 1820), em águas de rios da bacias do altíssimo iguaçu e ribeira, no período de julho/1992 a julho/1999**. Curitiba, p. 16, 1999.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, p. 13, 2004.

INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA (IIE). **Lagos e Reservatórios. Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização**. Rima, São Paulo, Brasil, v.3. 28 p, 2000.

JONES, R. A., KNOWLTON, M. K. Limnology of Missouri reservoirs: An analysis of regional patterns. **Limnology Reservoirs: Research Management**. Vol. 8, p. 17-30, 1993.

LAMPARELLI, Marta C. **Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento**. 238 p. Tese (Doutorado)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MADUREIRA, L. A. S.; MATER, L.; A., M. R.; HANSEL, F. A.; J. Assessment of lipid compounds and phosphorus in mangrove sediments of Santa Catarina Island, SC, Brazil. **Brazilian Chemical Society**. Vol. 15, p. 725, 2004

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983.

MARTINS, R. F. **Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em sedimentos**. 82 p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima**. Grande Região Sul. IBGE, Conselho Nacional de Geografia. V.4, 1963.

MUCELIN, C. A. **Estaística elementar e experimental aplicada às tecnologias**. Medianeira, 2003.

ODUM, E. P. **Ecología**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OLIVEIRA, J. R. B. de; SILVA, R. R. da. **Estudos Batimétricos dos Lagos dos Principais Parques da Cidade de Curitiba - Paraná**. Curitiba: [s.n.]. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil – Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia – Universidade Tuiuti do Paraná, 2002.

PAERL, H. W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. **Limnology. Oceanography**. Nº 33, p.823-847, 1988.

PARKINSON, J. A.; ALLEN, S. E., A wet oxidation procedure suitable for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological materials. **Community. Soil Science. Plant Anal**. Vol. 6, p. 1–11, 1975.

PEURAVUORI, J.; KOIVIKKO, R.; PIHLAJA, K. Characterization, differentiation and classification of aquatic humic matter separated with different sorbents: synchronous scanning fluorescence spectroscopy. **Water Research**. Vol. 36, p. 4552–4562, 2002.

ROSTAN, J. C.; CELLOT, B. On the use of uv spectrophotometry to assess dissolved organic carbon origin variations in the upper rhône river. **Aquatic Sciences**. Vol. 57, nº 1, p. 70–80, 1995.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Oxford, Cambridge University Press. 384p., 1984.

SAKSHAUG, E. **Problems in the methodology of studying phytoplankton**. In: The physiological ecology of phytoplankton (Morris, I., Ed). Los Angeles: University of California Press, 1980, 57-91.

SALAS, H.; MARTINO, P. **Metodologias Simplicadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales**. Programa Regional CEPIS/HPE/IOPS, Versão revisada, 2001, 52 p.

SANDGREN, C. D. **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Oxford: Cambridge Univ. Press, 1988.

SAWYER, C. N., McCARTY, P. L., PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science**. 5º ed. United States of America: McGraw Hill, 2003.

SCHÄFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. Porto Alegre, EDUNI-SUL 1985. 532 p.

SILVA, G, S. **Avaliação do Estado de Degradação e Capacidade de Suporte da Bacia do Rio Atibaia - Região de Campinas/Paulínia-SP**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Química Analítica, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SHIMADZU CORPORATION – Analytical Measuring Instruments Division. **TOC – UV** – CPH/ CPN Total Organic Carbon Analyser, User's Manual, Kioto, Japão, 2003.

SPERLING, E. V. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária: UFMG, 1996.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Reservoir ecosystem functioning: theory and application**, In: **TUNDISI, J. G. e STRASKRABA, M. (eds). Theoretical reservoir ecology and its applications**. Backhuiss Pub/ Brazilian Academy of Sciences, São Paulo, p. 565-597, 1999.

STUMM, W., MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3º ed. United States of America: Wiley – Interscience publication, 1996. 1022 p.

THOMANN, R. VB., MUELLER, J. A. **PRINCIPLES OF SURFACE WATER QUALITY MODELING AND CONTROL**. New York: Harper & Row, 1987.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E.G. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. 1983, Camboriú; Anais do 12º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú, 1983. 34p.

TOLEDO Jr., A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. São Paulo: CESTEB, 1990. 12p. (Relatório Interno).

U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Water Quality Inventory**. Report to Congress. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency. EPA 841-R-97-008. 1996.

U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Protocols for Developing Nutrient TMDLs**. Washington D.C: EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503F), United States Environmental Protection Agency, 135pp. 1999.

VASCONCELOS NETO, A. F. **Calibração do modelo Qual2E no rio Barigui/PR com vistas à gestão de bacias urbanas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Setor de Ciências Exatas e de tecnologia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

VILLA, A. T. **Avaliação Ambiental da Qualidade da Água do Lago do Parque Barigui: Potencial de Poluição Orgânica**. 204p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

ZEHR, J., P., WARD, B., B. Nitrogen cycling in the ocean: new perspectives on processes and paradigms. **Environmental Microbiology**, nº68, p. 1015-1024, 2002.

WELCH, E. B., JACOBY, J. M., HORNER, R. R., SEELEY, M. R. Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams. **Hidrobiologia**, nº157, p. 162-168, 1988.

WESTERHOFF, P.; ANNING, D. Concentrations and characteristics of organic carbon in surface water in arizona: influence of urbanization. **Journal of Hydrology**, v. 236, p. 2002–222, 2000.

WETZEL, R. G. **Limnology**. 2º ed. United State of America – Philadelphia: Saunders College Publishing. 1983.

ANEXOS

ANEXO A – DADOS DO MONITORAMENTO	89
ANEXO B – CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DE MONITORAMENTO	91
ANEXO C – DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA DO RIO BARIGUI NO MUNICÍPIO DE CURITIBA	99
ANEXO D – RESOLUÇÃO CONAMA 357/05	100
ANEXO E – DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO DAS CAMPANHAS.....	124

ANEXO A – DADOS DO MONITORAMENTO

CAMPANHAS PARÂMETROS	CAMPANHA 1 – 23/04				CAMPANHA 2 – 18/06				CAMPANHA 3 – 30/09				CAMPANHA 4 – 05/12			
	P1	P2A	P2B		P1	P2A	P2B		P1	P2A	P2B		P1	P2A	P2B	
Coluna d'água																
Condutividade (µS/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	328,0	259,0	232,0		231,0	254,0	254,0	
Disco de Secchi (m)	0,15	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,70	0,40	0,40		0,50	0,60	0,60	
pH	6,8	6,9	6,9	6,9	6,8	6,9	7,1	7,1	7,0	8,6	8,7		6,5	6,6	6,7	
Temperatura (°C)	-	-	-	-	13,0	13,8	17,8	17,8	17,0	19,4	18,3		20,3	22,0	22,2	
OD (mg/L)	6,14	2,01	2,42	2,42	7,5	7,46	7,89	7,89	3,52	11,24	10,20		3,18	5,54	5,30	
DBO (mg/L)	3,0	4,0	17,0	17,0	6,0	22,0	7,0	7,0	43,0	8,0	20,0		10,0	14,0	16,0	
DQO (mg/L)	19,2	14,4	20,8	20,8	12,8	28,8	14,4	14,4	56,89	10,76	23,06		32,0	24,0	25,6	
COD (mg/L)	1,74	14,08	19,49	19,49	9,25	4,48	5,56	5,56	7,94	5,67	7,02		9,82	10,11	10,63	
Clorofila-a (µg/L)	0,14	1,18	3,01	3,01	0,42	3,92	4,08	4,08	0,20	10,22	34,79		0,17	1,01	1,67	
FDR (mg/L)	0,34	0,08	0,09	0,09	0,13	0,07	0,08	0,08	0,35	0,13	0,14		0,08	0,04	0,04	
PT (mg/L)	0,23	0,19	0,24	0,24	0,17	0,18	0,53	0,53	0,42	0,34	0,44		0,19	0,17	0,20	
Nitrito (mg/L)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,22	0,13	0,13	0,13	0,29	0,15	0,16		0,18	0,39	0,32	
Nitrato (mg/L)	0,83	0,53	0,62	0,62	0,87	0,94	0,91	0,91	0,64	0,44	0,42		0,76	0,33	0,38	
Nitrogênio orgânico (mg/L)	0,47	0,47	1,04	1,04	0,03	0,03	0,03	0,03	1,18	2,35	3,76		1,34	0,50	1,40	
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,53	0,53	1,10	1,10	0,03	0,03	0,03	0,03	1,94	0,06	0,06		0,17	0,22	0,51	
ST (mg/L)	894	256	250	250	354	118	110	110	314	216	214		146	182	230	
STF (mg/L)	314	122	190	190	180	88	80	80	198	148	156		58	94	58	
STV (mg/L)	580	134	60	60	174	30	30	30	116	68	56		88	88	172	
SST (mg/L)	98	50	58	58	21	43	16	16	120	16	19		37	65	26	
SSF (mg/L)	64	30	54	54	21	43	16	16	17	7	13		9	8	3	
SSV (mg/L)	34	20	4	4	2	13	2	2	106	9	6		28	27	23	
SS (mg/L)	0,8	0,6	0,4	0,4	1,9	0,3	1,4	1,4	<0,1	<0,1	<0,1		0,3	0,3	<0,1	
Turbidez (NTU)	74,0	54,0	25,0	25,0	17,3	21,2	55,3	55,3	8,9	8,3	15,5		25,94	22,42	24,29	
Sedimento																
COT (% de carbono)	2,89	0,42			3,35	2,56			0,81	3,33			0,81	2,90		
P total (µmol/g)	53,5	19,3			84,7	18,3			63,4	73,72			62,4	73,20		
P inorgânico (µmol/g)	60,35	51,2			111,95	12,17			44,36	58,99			21,13	34,76		

ANEXO B – CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DE MONITORAMENTO

	CHUVA	CONDUTIVIDADE	DISCO SECCHI	pH	TEMPERATURA	OD	DBO
CHUVA	1,0000	-1	0	-1	1	0	0
	p= ---	p=,296	p=1,00	p=,256	0	p=,515	1
CONDUTIVIDADE	-,7041	1,0000	,7101	,0881	-,7992	-,1745	,9421
	p=,296	p= ---	p=,290	p=,912	p=,201	p=,825	p=,058
DISCO DE SECCHI	,0000	,7101	p=1,00	-,6138	-,3169	-,7268	,8849
	p=1,00	p=,290	p= ---	p=,386	p=,683	p=,273	p=,115
pH	-,7441	,0881	-,6138	1,0000	-,2847	,9353	-,2473
	p=,256	p=,912	p=,386	p= ---	p=,715	p=,065	p=,753
TEMPERATURA	,8155	-,7992	-,3169	-,2847	1,0000	,0703	-,7095
	p=,184	p=,201	p=,683	p=,715	p= ---	p=,930	p=,291
OD	-,4851	-,1745	-,7268	,9353	,0703	1,0000	-,4929
	p=,515	p=,825	p=,273	p=,065	p=,930	p= ---	p=,507
DBO	-,4456	,9421	,8849	-,2473	-,7095	-,4929	1,0000
	p=,554	p=,058	p=,115	p=,753	p=,291	p=,507	p= ---
DQO	-,1733	,7379	,8674	-,5264	-,6421	-,7732	,9080
	p=,827	p=,262	p=,133	p=,474	p=,358	p=,227	p=,092
COD	,8905	-,3101	,4463	-,9599	,5420	-,7993	,0101
	p=,110	p=,690	p=,554	p=,040	p=,458	p=,201	p=,990
CLa	-,5132	-,1818	-,7649	,9540	,0124	,9942	-,5009
	p=,487	p=,818	p=,235	p=,046	p=,988	p=,006	p=,499
FDR	-,7573	,9369	,5685	,1299	-,9534	-,2021	,8841
	p=,243	p=,063	p=,432	p=,870	p=,047	p=,798	p=,116
PT	-,9592	,8685	,2719	,5266	-,9058	,2302	,6785
	p=,041	p=,132	p=,728	p=,473	p=,094	p=,770	p=,321
NITRITO	,3565	,2619	,7224	-,5525	,3488	-,4097	,4000
	p=,643	p=,738	p=,278	p=,447	p=,651	p=,590	p=,600
NITRATO	,0148	,0564	,0941	-,3312	-,4998	-,5597	,2116
	p=,985	p=,944	p=,906	p=,669	p=,500	p=,440	p=,788
N ORGÂNICO	-,4260	-,2991	-,8437	,9210	,0781	,9787	-,6010
	p=,574	p=,701	p=,156	p=,079	p=,922	p=,021	p=,399
N AMONIACAL	-,4384	,9404	,8896	-,2536	-,7014	-,4961	,9999
	p=,562	p=,060	p=,110	p=,746	p=,299	p=,504	p=,000
ST	-,6448	,9567	,7078	,1214	-,6105	-,0614	,8746
	p=,355	p=,043	p=,292	p=,879	p=,389	p=,939	p=,125
STF	-,9558	,8710	,2788	,5157	-,9128	,2158	,6853
	p=,044	p=,129	p=,721	p=,484	p=,087	p=,784	p=,315
STV	,4856	,1207	,6515	-,6076	,4719	-,4255	,2811
	p=,514	p=,879	p=,349	p=,392	p=,528	p=,574	p=,719
SST	-,4426	,8912	,8162	-,2695	-,7995	-,5591	,9698
	p=,557	p=,109	p=,184	p=,730	0	p=,441	p=,030
SSF	-,5883	,7879	,5262	-,0470	-,9439	-,3957	,8111
	p=,412	p=,212	p=,474	p=,953	p=,056	p=,604	p=,189
SSV	-,4223	,8967	,8440	-,2909	-,7719	-,5693	,9799
	p=,578	p=,103	0	p=,709	p=,228	p=,431	p=,020
SS	-,5774	,5899	,2582	,4753	-,1775	,4691	,3808
	p=,423	p=,410	p=,742	p=,525	p=,822	p=,531	p=,619
TURBIDEZ	,9972	-,7013	,0012	-,7625	,7767	-,5209	-,4332
	p=,003	p=,299	p=,999	p=,238	p=,223	p=,479	p=,567
FR	-,0877	,3325	,3813	,0738	,2533	,2130	,2518
	p=,912	p=,667	p=,619	p=,926	p=,747	p=,787	p=,748
A254	,8933	-,6128	,0228	-,5604	,9387	-,2315	-,4387
	p=,107	p=,387	p=,977	p=,440	p=,061	p=,768	p=,561

314_450	-,3546	,7611	,7202	-,3354	-,8062	-,6414	,8761
	p=,645	p=,239	p=,280	p=,665	p=,194	p=,359	p=,124
A285	,8503	-,5938	,0070	-,4984	,9461	-,1616	-,4441
	p=,150	p=,406	p=,993	p=,502	p=,054	p=,838	p=,556
370_450	-,5639	,9167	,7319	-,1305	-,8771	-,4444	,9508
	p=,436	p=,083	p=,268	1	p=,123	p=,556	p=,049
298 SINC	-,4876	,8337	,6906	-,2019	-,8752	-,5252	,9008
	p=,512	p=,166	p=,309	p=,798	p=,125	p=,475	p=,099
PW	,2351	-,7716	-,8535	,2263	,2369	,2800	-,7970
	p=,765	p=,228	p=,147	p=,774	p=,763	p=,720	p=,203
% de C	-,0934	-,3084	-,5269	,6156	,4999	,8391	-,5391
	p=,907	p=,692	p=,473	p=,384	1	p=,161	p=,461
PT SED	-,0704	-,2543	-,4279	,5526	,5146	,7834	-,4694
	p=,930	p=,746	p=,572	0	p=,485	p=,217	p=,531
PI SED	-,8590	,4310	-,2448	,9080	-,4052	,8133	,1052
	p=,141	p=,569	p=,755	p=,092	p=,595	p=,187	p=,895

	DQO	DOC	CLa	FDR	PT	NITRITO	NITRATO	N ORGÂNICO
CHUVA	0	1	-1	-1	-1	0	0	-,4260
	1	0	0	0	0	p=,643	p=,985	p=,574
CONDUTIVIDADE	,7379	-,3101	-,1818	,9369	,8685	,2619	,0564	-,2991
	p=,262	p=,690	p=,818	p=,063	p=,132	p=,738	p=,944	p=,701
DISCO de SECCHI	,8674	,4463	-,7649	,5685	,2719	,7224	,0941	-,8437
	p=,133	p=,554	p=,235	p=,432	p=,728	p=,278	p=,906	p=,156
pH	-,5264	-,9599	,9540	,1299	,5266	-,5525	-,3312	,9210
	p=,474	p=,040	p=,046	p=,870	p=,473	p=,447	p=,669	p=,079
TEMPERATURA	-,6421	,5420	,0124	-,9534	-,9058	,3488	-,4998	,0781
	p=,358	p=,458	p=,988	p=,047	p=,094	p=,651	p=,500	p=,922
OD	-,7732	-,7993	,9942	-,2021	,2302	-,4097	-,5597	,9787
	p=,227	p=,201	p=,006	p=,798	p=,770	p=,590	p=,440	p=,021
DBO	,9080	,0101	-,5009	,8841	,6785	,4000	,2116	-,6010
	p=,092	p=,990	p=,499	p=,116	p=,321	p=,600	p=,788	p=,399
DQO	1,0000	,2740	-,7562	,7743	,4380	,2884	,5434	-,8104
	p= ---	p=,726	p=,244	p=,226	p=,562	p=,712	p=,457	p=,190
COD	,2740	1,0000	-,8328	-,3923	-,7260	,5875	,1432	-,7848
	p=,726	p= ---	p=,167	p=,608	p=,274	p=,412	p=,857	p=,215
CLA	-,7562	-,8328	1,0000	-,1713	,2543	-,5048	-,4671	,9911
	p=,244	p=,167	p= ---	p=,829	p=,746	p=,495	p=,533	p=,009
FDR	,7743	-,3923	-,1713	1,0000	,9058	-,0497	,3621	-,2620
	p=,226	p=,608	p=,829	p= ---	0	p=,950	p=,638	p=,738
PT	,4380	-,7260	,2543	,9058	1,0000	-,1913	,0882	,1541
	p=,562	p=,274	p=,746	p=,094	p= ---	p=,809	p=,912	p=,846
NITRITO	,2884	,5875	-,5048	-,0497	-,1913	1,0000	-,5166	-,5678
	p=,712	p=,412	p=,495	p=,950	p=,809	p= ---	p=,483	p=,432
NITRATO	,5434	,1432	-,4671	,3621	,0882	-,5166	1,0000	-,4108
	p=,457	p=,857	p=,533	p=,638	p=,912	p=,483	p= ---	p=,589
N ORGÂNICO	-,8104	-,7848	,9911	-,2620	,1541	-,5678	-,4108	1,0000
	p=,190	p=,215	p=,009	p=,738	p=,846	p=,432	p=,589	p= ---
N AMONIAL	,9073	,0179	-,5053	,8789	,6723	,4104	,2047	-,6056
	p=,093	p=,982	p=,001	p=,121	p=,328	1	p=,795	p=,394
ST	,5912	-,2838	-,0983	,7981	,7887	,4523	-,2300	-,2283
	p=,409	p=,716	p=,902	p=,202	p=,211	p=,548	p=,770	p=,772
STF	,4508	-,7185	,2411	,9122	,9998	-,1945	,1045	,1416
	p=,549	p=,281	p=,759	p=,088	p=,000	p=,806	p=,895	p=,858
STV	,2090	,6717	-,5206	-,1847	-,3337	,9891	-,5117	-,5662
	p=,791	p=,328	p=,479	p=,815	p=,666	p=,011	p=,488	p=,434
SST	,9579	,0030	-,5418	,9186	,6751	,2117	,4400	-,6214
	p=,042	p=,997	p=,458	p=,081	p=,325	p=,788	p=,560	p=,379
SSF	,8448	-,2348	-,3396	,9420	,7548	-,1934	,6519	-,3939
	p=,155	p=,765	p=,660	p=,058	p=,245	p=,807	p=,348	p=,606
SSV	,9595	,0298	-,5576	,9059	,6601	,2633	,4022	-,6402
	p=,041	p=,970	p=,442	0	p=,340	p=,737	p=,598	p=,360
SS	-,0374	-,4673	,4003	,3351	,5642	,4397	-,7553	,2811
	p=,963	p=,533	p=,600	p=,665	p=,436	p=,560	p=,245	p=,719
TURBIDEZ	-,1370	,8951	-,5417	-,7306	-,9505	,3122	,0892	-,4502
	p=,863	p=,105	0	p=,269	p=,050	p=,688	p=,911	p=,550
FR	-,0834	,0107	,1116	-,0125	,1168	,7894	-,8815	,0163
	p=,917	p=,989	p=,888	p=,987	p=,883	p=,211	p=,118	p=,984
A254	-,3444	,7660	-,3011	-,8078	-,8853	,6010	-,4315	-,2532
	p=,656	p=,234	p=,699	p=,192	p=,115	p=,399	p=,569	p=,747
314_450	,9643	,0583	-,6010	,8696	,5820	,0405	,6561	-,6513
	p=,036	p=,942	p=,399	p=,130	p=,418	p=,960	p=,344	p=,349
A285	-,3868	,7138	-,2369	-,8091	-,8544	,6200	-,5105	-,1963
	p=,613	p=,286	p=,763	p=,191	p=,146	p=,380	p=,489	p=,804

370_450	,9643	,0583	-,6010	,8696	,5820	,0405	,6561	-,6513
	p=,036	p=,942	p=,399	p=,130	p=,418	p=,960	p=,344	p=,349
298 SINC	,9327	-,0788	-,4860	,9335	,6967	,0085	,5895	-,5494
	p=,067	p=,921	p=,514	p=,066	p=,303	p=,991	0	p=,451
PW	-,5641	-,1305	,3511	-,5138	-,4216	-,8083	,3861	,4680
	p=,436	p=,870	p=,649	p=,486	p=,578	p=,192	p=,614	p=,532
% de C	-,8349	-,3930	,7798	-,5003	-,1189	,0867	-,8919	,7602
	p=,165	p=,607	p=,220	p=,500	p=,881	p=,913	p=,108	p=,240
PT SED	-,7793	-,3333	,7142	-,4795	-,1183	,1997	-,9383	,6853
	p=,221	p=,667	p=,286	p=,520	p=,882	p=,800	p=,062	p=,315
PI SED	-,2733	-,9139	,8031	,3669	,7227	-,2166	-,4834	,7193
	p=,727	p=,086	p=,197	p=,633	p=,277	p=,783	p=,517	p=,281

	N AMONICAL	ST	STF	STV	SST	SSF	SSV	SS
CHUVA	0	-,6448	-1	0	0	-,5883	0	-1
	1	p=,355	0	p=,514	p=,557	p=,412	p=,578	0
CONDUTIVIDADE	,9404	,9567	,8710	,1207	,8912	,7879	,8967	,5899
	p=,060	p=,043	p=,129	p=,879	p=,109	p=,212	p=,103	p=,410
DISCO de SECCHI	,8896	,7078	,2788	,6515	,8162	,5262	,8440	,2582
	p=,110	p=,292	p=,721	p=,349	p=,184	p=,474	p=,156	p=,742
pH	-,2536	,1214	,5157	-,6076	-,2695	-,0470	-,2909	,4753
	p=,746	p=,879	p=,484	p=,392	p=,730	p=,953	p=,709	p=,525
TEMPERATURA	-,7014	-,6105	-,9128	,4719	-,7995	-,9439	-,7719	-,1775
	p=,299	p=,389	p=,087	p=,528	p=,201	p=,056	p=,228	p=,822
OD	-,4961	-,0614	,2158	-,4255	-,5591	-,3957	-,5693	,4691
	p=,504	p=,939	p=,784	p=,574	p=,441	p=,604	p=,431	p=,531
DBO	,9999	,8746	,6853	,2811	,9698	,8111	,9799	,3808
	p=,000	p=,125	p=,315	p=,719	p=,030	p=,189	p=,020	p=,619
DQO	,9073	,5912	,4508	,2090	,9579	,8448	,9595	-,0374
	p=,093	p=,409	p=,549	p=,791	p=,042	p=,155	p=,041	p=,963
COD	,0179	-,2838	-,7185	,6717	,0030	-,2348	,0298	-,4673
	p=,982	p=,716	p=,281	p=,328	p=,997	p=,765	p=,970	p=,533
CLA	-,5053	-,0983	,2411	-,5206	-,5418	-,3396	-,5576	,4003
	p=,495	p=,902	p=,759	p=,479	p=,458	p=,660	p=,442	p=,600
FDR	,8789	,7981	,9122	-,1847	,9186	,9420	,9059	,3351
	p=,121	p=,202	p=,088	p=,815	p=,081	p=,058	p=,094	p=,665
PT	,6723	,7887	,9998	-,3337	,6751	,7548	,6601	,5642
	p=,328	p=,211	p=,000	p=,666	p=,325	p=,245	p=,340	p=,436
NITRITO	,4104	,4523	-,1945	,9891	,2117	-,1934	,2633	,4397
	p=,590	p=,548	p=,806	p=,011	p=,788	p=,807	p=,737	p=,560
NITRATO	,2047	-,2300	,1045	-,5117	,4400	,6519	,4022	-,7553
	p=,795	p=,770	p=,895	p=,488	p=,560	p=,348	p=,598	p=,245
N ORGÂNICO	-,6056	-,2283	,1416	-,5662	-,6214	-,3939	-,6402	,2811
	p=,394	p=,772	p=,858	p=,434	p=,379	p=,606	p=,360	p=,719
N AMONICAL	1,0000	,8755	,6790	,2920	,9677	,8047	,9783	,3836
	p= ---	0	p=,321	p=,708	p=,032	p=,195	p=,022	p=,616
ST	,8755	1,0000	,7869	,3161	,7560	,5748	,7745	,7784
	p=,125	p= ---	p=,213	p=,684	p=,244	p=,425	p=,226	p=,222
STF	,6790	,7869	1,0000	-,3367	,6851	,7661	,6697	,5519
	p=,321	p=,213	p= ---	p=,663	p=,315	p=,234	p=,330	p=,448
STV	,2920	,3161	-,3367	1,0000	,1003	-,3007	,1521	,3394
	p=,708	p=,684	p=,663	p= ---	p=,900	p=,699	p=,848	p=,661
SST	,9677	,7560	,6851	,1003	1,0000	,9180	,9986	,1785
	p=,032	p=,244	0	p=,900	p= ---	p=,082	p=,001	p=,821
SSF	,8047	,5748	,7661	-,3007	,9180	1,0000	,8956	-,0000
	p=,195	p=,425	p=,234	p=,699	p=,082	p= ---	p=,104	p=1,00
SSV	,9783	,7745	,6697	,1521	,9986	,8956	1,0000	,2057
	p=,022	p=,226	p=,330	p=,848	p=,001	p=,104	p= ---	p=,794
SS	,3836	,7784	,5519	,3394	,1785	-,0000	,2057	p=1,00
	p=,616	p=,222	p=,448	p=,661	p=,821	p=1,00	p=,794	p= ---
TURBIDEZ	-,4266	-,6637	-,9459	,4416	-,4127	-,5403	-,3955	-,6332
	p=,573	p=,336	p=,054	p=,558	p=,587	p=,460	p=,605	p=,367
FR	,2598	,5918	,1046	,7422	,0082	-,3127	,0547	,8619
	p=,740	p=,408	1	p=,258	p=,992	p=,687	p=,945	p=,138
A254	-,4288	-,4304	-,8892	,7103	-,5435	-,7892	-,5064	-,1621
	p=,571	p=,570	p=,111	p=,290	p=,456	p=,211	p=,494	p=,838
314_450	,8725	,5665	,5951	-,0506	,9663	,9537	,9547	-,0712
	p=,127	p=,434	p=,405	p=,949	p=,034	p=,046	p=,045	p=,929
A285	-,4339	-,3916	-,8597	,7242	-,5661	-,8197	-,5271	-,0815
	p=,566	p=,608	p=,140	p=,276	p=,434	p=,180	p=,473	p=,918

370_450	,9473	,7713	,7786	-,0201	,9890	,9518	,9823	,2182
	p=,053	p=,229	p=,221	p=,980	p=,011	p=,048	p=,018	p=,782
298 SINC	,8965	,6492	,7082	-,0982	,9779	,9782	,9654	,0461
	p=,103	p=,351	p=,292	p=,902	p=,022	p=,022	p=,035	p=,954
PW	-,8028	-,8898	-,4194	-,7130	-,6279	-,3019	-,6659	-,7164
	p=,197	p=,110	p=,581	p=,287	p=,372	p=,698	p=,334	p=,284
% de C	-,5359	-,0691	-,1361	,1038	-,7025	-,7410	-,6845	,5722
	p=,464	p=,931	p=,864	p=,896	p=,297	p=,259	p=,316	p=,428
PT SED	-,4652	,0023	-,1357	,2122	-,6528	-,7370	-,6293	,6281
	p=,535	p=,998	1	p=,788	p=,347	p=,263	p=,371	p=,372
PI SED	,1013	,5103	,7110	-,3145	,0134	,1005	,0075	,7810
	p=,899	p=,490	p=,289	p=,686	p=,987	p=,899	p=,992	p=,219

	TURBIDEZ	FR	A254	A285	370_450	298 SINC	PW	% DE C	PT SED	PI SED
CHUVA	1	0	,8933	1	-1	-,4876	0	0	0	-,8590
	0	p=,912	p=,107	0	p=,436	p=,512	p=,765	p=,907	p=,930	p=,141
CONDUTIVIDADE	-,7013	,3325	-,6128	-,5938	,9167	,8337	-,7716	-,3084	-,2543	,4310
	p=,299	p=,667	p=,387	p=,406	p=,083	p=,166	p=,228	p=,692	p=,746	p=,569
DISCO de SECCHI	,0012	,3813	,0228	,0070	,7319	,6906	-,8535	-,5269	-,4279	-,2448
	p=,999	p=,619	p=,977	p=,993	p=,268	p=,309	p=,147	p=,473	p=,572	p=,755
pH	-,7625	,0738	-,5604	-,4984	-,1305	-,2019	,2263	,6156	,5526	,9080
	p=,238	p=,926	p=,440	p=,502	p=,870	p=,798	p=,774	p=,384	p=,447	p=,092
TEMPERATURA	,7767	,2533	,9387	,9461	-,8771	-,8752	,2369	,4999	,5146	-,4052
	p=,223	p=,747	p=,061	p=,054	p=,123	p=,125	p=,763	p=,500	p=,485	p=,595
OD	-,5209	,2130	-,2315	-,1616	-,4444	-,5252	,2800	,8391	,7834	,8133
	p=,479	p=,787	p=,768	p=,838	p=,556	p=,475	p=,720	p=,161	p=,217	p=,187
DBO	-,4332	,2518	-,4387	-,4441	,9508	,9008	-,7970	-,5391	-,4694	,1052
	p=,567	p=,748	p=,561	p=,556	p=,049	p=,099	p=,203	p=,461	p=,531	p=,895
DQO	-,1370	-,0834	-,3444	-,3868	,9110	,9327	-,5641	-,8349	-,7793	-,2733
	p=,863	p=,917	p=,656	p=,613	p=,089	p=,067	p=,436	p=,165	p=,221	p=,727
COD	,8951	,0107	,7660	,7138	-,1417	-,0788	-,1305	-,3930	-,3333	-,9139
	p=,105	p=,989	p=,234	p=,286	p=,858	p=,921	p=,870	p=,607	p=,667	p=,086
CLA	-,5417	,1116	-,3011	-,2369	-,4194	-,4860	,3511	,7798	,7142	,8031
	p=,458	p=,888	p=,699	p=,763	p=,581	p=,514	p=,649	p=,220	p=,286	p=,197
FDR	-,7306	-,0125	-,8078	-,8091	,9661	,9335	-,5138	-,5003	-,4795	,3669
	p=,269	p=,987	p=,192	p=,191	p=,034	p=,066	p=,486	0	p=,520	p=,633
PT	-,9505	,1168	-,8853	-,8544	,7694	,6967	-,4216	-,1189	-,1183	,7227
	p=,050	p=,883	p=,115	p=,146	p=,231	p=,303	p=,578	p=,881	p=,882	p=,277
NITRITO	,3122	,7894	,6010	,6200	,1009	,0085	-,8083	,0867	,1997	-,2166
	p=,688	p=,211	p=,399	p=,380	p=,899	p=,991	p=,192	p=,913	p=,800	p=,783
NITRATO	,0892	-,8815	-,4315	-,5105	,4414	,5895	,3861	-,8919	-,9383	-,4834
	p=,911	p=,118	p=,569	p=,489	p=,559	p=,411	p=,614	p=,108	p=,062	p=,517
N ORGÂNICO	-,4502	,0163	-,2532	-,1963	-,5022	-,5494	,4680	,7602	,6853	,7193
	p=,550	p=,984	p=,747	p=,804	p=,498	p=,451	p=,532	p=,240	p=,315	p=,281
N AMONIAL	-,4266	,2598	-,4288	-,4339	,9473	,8965	-,8028	-,5359	-,4652	,1013
	p=,573	p=,740	p=,571	p=,566	p=,053	p=,103	p=,197	p=,464	p=,535	p=,899
ST	-,6637	,5918	-,4304	-,3916	,7713	,6492	-,8898	-,0691	,0023	,5103
	p=,336	p=,408	p=,570	p=,608	p=,229	p=,351	p=,110	p=,931	p=,998	p=,490
STF	-,9459	,1046	-,8892	-,8597	,7786	,7082	-,4194	-,1361	-,1357	,7110
	p=,054	p=,895	p=,111	p=,140	p=,221	p=,292	p=,581	p=,864	p=,864	p=,289
STV	,4416	,7422	,7103	,7242	-,0201	-,0982	-,7130	,1038	,2122	-,3145
	p=,558	p=,258	p=,290	p=,276	p=,980	p=,902	p=,287	p=,896	p=,788	p=,686
SST	-,4127	,0082	-,5435	-,5661	,9890	,9779	-,6279	-,7025	-,6528	,0134
	p=,587	p=,992	p=,456	p=,434	p=,011	p=,022	p=,372	p=,297	p=,347	p=,987
SSF	-,5403	-,3127	-,7892	-,8197	,9518	,9782	-,3019	-,7410	-,7370	,1005
	p=,460	p=,687	p=,211	p=,180	p=,048	0	p=,698	p=,259	p=,263	1
SSV	-,3955	,0547	-,5064	-,5271	,9823	,9654	-,6659	-,6845	-,6293	,0075
	p=,605	p=,945	p=,494	p=,473	p=,018	p=,035	p=,334	p=,316	p=,371	p=,992
SS	-,6332	,8619	-,1621	-,0815	,2182	,0461	-,7164	,5722	,6281	,7810
	p=,367	p=,138	p=,838	p=,918	p=,782	p=,954	p=,284	p=,428	p=,372	p=,219
TURBIDEZ	1,0000	-,1557	,8573	,8087	-,5329	-,4456	,2681	-,1568	-,1379	-,8904
	p= ---	p=,844	p=,143	0	p=,467	p=,554	p=,732	p=,843	p=,862	p=,110
FR	-,1557	1,0000	,3435	,4123	-,0236	-,1855	-,7741	,5848	,6722	,3958
	p=,844	p= ---	p=,657	p=,588	p=,976	p=,815	p=,226	p=,415	p=,328	p=,604
A254	,8573	,3435	1,0000	,9960	-,6588	-,6596	-,0183	,2838	,3319	-,5710
	p=,143	p=,657	p= ---	p=,004	p=,341	p=,340	p=,982	p=,716	p=,668	p=,429
314_450	p=,467	p=,976	p=,341	p=,324	p= ---	p= ---	-,0508	p=,015	p=,344	p=,382
	-,3083	-,2431	-,5680	-,6103	1,0000	,9552	p=,949	,9888	-,8501	-,8205

A285	,8087	,4123	,9960	1,0000	-,6757	-,6909	-,4207	,3614	,4113	-,4955
	p=,191	p=,588	p=,004	p= ---	p=,324	0	p=,579	p=,639	p=,589	p=,504
370_450	-,5329	-,0236	-,6588	-,6757	1,0000	,9848	-,5792	-,6562	-,6183	,1332
	p=,467	p=,976	p=,341	p=,324	p= ---	p=,015	p=,421	p=,344	p=,382	p=,867
298 SINC	-,4456	-,1855	-,6596	-,6909	,9848	1,0000	-,4556	-,7696	-,7425	,0096
	p=,554	p=,815	p=,340	p=,309	p=,015	p= ---	p=,544	p=,230	p=,257	p=,990
PW	,2681	-,7741	-,0183	-,0508	-,4207	-,5792	1,0000	p=,965	1	p=,798
	p=,732	p=,226	p=,982	p=,949	p=,579	p=,421	p= ---	1,0000	,9933	,5891
% de C	-,1568	,5848	,2838	,3614	-,6562	-,7696	,0348	1,0000	,9933	,5891
	p=,843	p=,415	p=,716	p=,639	p=,344	p=,230	p=,965	p= ---	p=,007	p=,411
PT SED	-,1379	,6722	,3319	,4113	-,6183	-,7425	-,0704	,9933	1,0000	,5704
	p=,862	p=,328	p=,668	p=,589	p=,382	p=,257	p=,930	p=,007	p= ---	p=,430
PI SED	-,8904	,3958	-,5710	-,4955	,1332	,0096	-,2021	,5891	,5704	1,0000
	p=,110	p=,604	p=,429	p=,504	p=,867	p=,990	p=,798	p=,411	p=,430	p= ---

**ANEXO C – DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA BACIA DO RIO
BARIGUI NO MUNICÍPIO DE CURITIBA**

SUDERHSA

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Sistema de Informações Hidrológicas**Alturas diárias de precipitação (mm)
2008**

Estação: CURITIBA	Código: 02549006				Entidade: INMET							
Município: Curitiba	Instalação: 1/1/1889				Extinção:							
Tipo: PPRT	Bacia: Iguaçu				Sub-bacia: 1							
Altitude: 929,000 m	Latitude: 25° 26' 47"				Longitude: 49° 13' 50"							
DIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
01	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	2,4	0,0	23,6	8,2	5,8
02	5,4	0,0	0,0	4,4	22,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4
03	2,4	0,0	0,0	0,4	5,6	0,0	0,0	9,2	0,0	0,2	0,0	0,0
04	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,4	0,0	44,2	0,0	0,0
05	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0
06	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,4	0,0	3,2	0,0
07	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	7,2	0,0	0,0
08	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,6	0,0	0,0	12,4	0,0
09	7,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	18,6
10	0,0	11,8	70,2	0,0	0,0	2,8	0,0	8,8	0,0	0,0	8,0	1,8
11	9,2	0,0	23,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
12	13,8	11,0	27,2	5,0	0,2	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	6,0	0,0
13	0,0	2,6	18,0	14,8	0,0	20,4	0,0	18,8	4,8	0,0	2,0	0,0
14	2,4	0,0	0,0	16,0	0,0	10,8	0,0	12,0	0,4	7,0	0,0	0,0
15	0,2	52,0	1,4	0,6	3,2	25,0	0,0	18,2	0,0	12,2	0,0	0,4
16	0,0	6,0	3,6	0,2	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	21,6	4,4	8,0
17	0,0	1,2	3,2	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	3,2
18	4,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,6	0,0	0,0
19	25,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
20	10,4	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,4	0,0
21	1,0	0,0	0,4	3,2	0,0	2,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,8	0,0
22	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
23	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0
24	0,0	3,2	0,6	0,0	0,0	0,0	25,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4
25	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,2	0,4	0,0
26	1,4	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,0
27	3,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
28	1,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
29	0,6	4,2	0,0	75,0	12,4	0,2	0,0	0,0	0,2	22,4	0,2	0,0
30	0,8	-	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0

Valores mensais

TOTAL	138,8	123,0	157,2	140,2	43,6	100,0	26,4	110,0	31,4	194,8	49,8	42,6
TOT. CONS.												
MÁXIMA	35,0	52,0	70,2	75,0	22,0	30,0	25,6	31,6	6,8	44,2	12,4	18,6
DIAS CHUVA	21	13	13	12	6	10	2	11	12	14	15	8

Valores anuais

366 dias observados

137 dias de chuva

Máxima: 75,0

Total: 1157,8

ANEXO D – RESOLUÇÃO CONAMA 357/05



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a vigência da Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade;

Considerando o art. 9º, inciso I, da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e demais normas aplicáveis à matéria;

Considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável, baseado nos princípios da função ecológica da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor-pagador, do usuário-pagador e da integração, bem como no reconhecimento de valor intrínseco à natureza;

Considerando que a Constituição Federal e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, visam controlar o lançamento no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida;

Considerando que o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando a sua efetivação;

Considerando os termos da Convenção de Estocolmo, que trata dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 7 de maio de 2004;

Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes;

Considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade;

Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas;

Considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos;

Considerando a necessidade de se reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos das águas, melhor especificar as condições e padrões de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento; e

Considerando que o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água; resolve:

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

CAPÍTULO I DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;

II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;

III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

IV - ambiente lântico: ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado;

V - ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes;

VI - aquicultura: o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático;

VII - carga poluidora: quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por tempo;

VIII - cianobactérias: microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis) capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos a saúde;

IX - classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;

X - classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros;

XI - coliformes termotolerantes: bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal;

XII - condição de qualidade: qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade;

XIII - condições de lançamento: condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor;

XIV - controle de qualidade da água: conjunto de medidas operacionais que visa avaliar a melhoria e a conservação da qualidade da água estabelecida para o corpo de água;

XV - corpo receptor: corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente;

XVI - desinfecção: remoção ou inativação de organismos potencialmente patogênicos;

XVII - efeito tóxico agudo: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos, usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a antecede, em um curto período de exposição;

XVIII - efeito tóxico crônico: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou várias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele;

XIX - efetivação do enquadramento: alcance da meta final do enquadramento;

XX - enquadramento: estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo;

XXI - ensaios ecotoxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos aquáticos;

XXII - ensaios toxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos visando avaliar o potencial de risco à saúde humana;

XXIII - *Escherichia coli* (*E.Coli*): bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima β -glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas;

XXIV - metas: é o desdobramento do objeto em realizações físicas e atividades de gestão, de acordo com unidades de medida e cronograma preestabelecidos, de caráter obrigatório;

XXV - monitoramento: medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água;

XXVI - padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente;

XXVII - parâmetro de qualidade da água: substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água;

XXVIII - pesca amadora: exploração de recursos pesqueiros com fins de lazer ou desporto;

XXIX - programa para efetivação do enquadramento: conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico;

XXX - recreação de contato primário: contato direto e prolongado com a água (tais como natação, mergulho, esqui-aquático) na qual a possibilidade do banhista ingerir água é elevada;

XXXI - recreação de contato secundário: refere-se àquela associada a atividades em que o contato com a água é esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água é pequena, como na pesca e na navegação (tais como iatismo);

XXXII - tratamento avançado: técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica;

XXXIII - tratamento convencional: clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH;

XXXIV - tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário;

XXXV - tributário (ou curso de água afluente): corpo de água que flui para um rio maior ou para um lago ou reservatório;

XXXVI - vazão de referência: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGRH;

XXXVII - virtualmente ausentes: que não é perceptível pela visão, olfato ou paladar; e

XXXVIII - zona de mistura: região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente.

CAPÍTULO II

DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

Seção I

Das Águas Doces

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme

Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e

e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme

Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Seção II

Das Águas Salinas

Art. 5º As águas salinas são assim classificadas:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

e

b) à proteção das comunidades aquáticas; e

c) à aquicultura e à atividade de pesca.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) à pesca amadora; e

b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Seção II

Das Águas Salobras

Art. 6º As águas salobras são assim classificadas:

I - classe especial: águas destinadas:

a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

e,

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à aquicultura e à atividade de pesca;

d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e

e) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) à pesca amadora; e

b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

CAPÍTULO III

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Seção I

Das Disposições Gerais

Art. 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos, ressalvado o disposto no § 3º do art. 34, desta Resolução.

Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

§ 1º Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade.

§ 2º Os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medição consideradas.

§ 3º A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas.

§ 4º As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos.

§ 5º Na hipótese dos estudos referidos no parágrafo anterior tornarem-se necessários em decorrência da atuação de empreendedores identificados, as despesas da investigação correrão as suas expensas.

§ 6º Para corpos de água salobras continentais, onde a salinidade não se dê por influência direta marinha, os valores dos grupos químicos de nitrogênio e fósforo serão os estabelecidos nas classes correspondentes de água doce.

Art. 9º A análise e avaliação dos valores dos parâmetros de qualidade de água de que trata esta Resolução serão realizadas pelo Poder Público, podendo ser utilizado laboratório próprio, conveniado ou contratado, que deverá adotar os procedimentos de controle de qualidade analítica necessários ao atendimento das condições exigíveis.

§ 1º Os laboratórios dos órgãos competentes deverão estruturar-se para atenderem ao disposto nesta Resolução.

§ 2º Nos casos onde a metodologia analítica disponível for insuficiente para quantificar as concentrações dessas substâncias nas águas, os sedimentos e/ou biota aquática poderão ser investigados quanto à presença eventual dessas substâncias.

Art. 10. Os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições de vazão de referência.

§ 1º Os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), estabelecidos para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura.

§ 2º Os valores máximos admissíveis dos parâmetros relativos às formas químicas de nitrogênio e fósforo, nas condições de vazão de referência, poderão ser alterados em decorrência de condições naturais, ou quando estudos ambientais específicos, que considerem também a poluição difusa, comprovem que esses novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo de água.

§ 3º Para águas doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência.

§ 4º O disposto nos §§ 2º e 3º não se aplica às baías de águas salinas ou salobras, ou outros corpos de água em que não seja aplicável a vazão de referência, para os quais deverão ser elaborados estudos específicos sobre a dispersão e assimilação de poluentes no meio hídrico.

Art. 11. O Poder Público poderá, a qualquer momento, acrescentar outras condições e padrões de qualidade, para um determinado corpo de água, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica.

Art. 12. O Poder Público poderá estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência.

Art. 13. Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

Seção II

Das Águas Doces

Art. 14. As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) DBO 5 dias a 20°C até 3 mg/L O₂;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂;

j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);

l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e

m) pH: 6,0 a 9,0.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA I - CLASSE 1 - ÁGUAS DOCES
PADRÕES

PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila <i>a</i>	10 µg/L
Densidade de cianobactérias	20.000 cel/mL ou 2 mm ³ /L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Antimônio	0,005mg/L Sb
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	0,7 mg/L Ba
Berílio total	0,04 mg/L Be
Boro total	0,5 mg/L B
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01mg/L Pb
Cianeto livre	0,005 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobalto total	0,05 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total (ambiente lântico)	0,020 mg/L P

Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,025 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,1 mg/L P
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercúrio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total	0,01 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto (H ₂ S não dissociado)	0,002 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	0,18 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Acrilamida	0,5 µg/L
Alacloro	20 µg/L
Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L
Atrazina	2 µg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Benzidina	0,001 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,05 µg/L
Benzo(a)pireno	0,05 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,05 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,05 µg/L
Carbaril	0,02 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L
2-Clorofenol	0,1 µg/L
Criseno	0,05 µg/L
2,4-D	4,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,05 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L
1,1-Dicloroetano	0,003 mg/L
2,4-Diclorofenol	0,3 µg/L
Diclorometano	0,02 mg/L
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,002 µg/L
Dodecacloro pentaciclododecano	0,001 µg/L
Endossulfan (α + β + sulfato)	0,056 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Estireno	0,02 mg/L
Etilbenzeno	90,0 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003 mg/L C ₆ H ₅ OH
Glifosato	65 µg/L
Gution	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,01 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,05 µg/L

Lindano (γ -HCH)	0,02 $\mu\text{g/L}$
Malation	0,1 $\mu\text{g/L}$
Metolacloro	10 $\mu\text{g/L}$
Metoxicloro	0,03 $\mu\text{g/L}$
Paration	0,04 $\mu\text{g/L}$
PCBs - Bifenilas policloradas	0,001 $\mu\text{g/L}$
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Simazina	2,0 $\mu\text{g/L}$
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L LAS
2,4,5-T	2,0 $\mu\text{g/L}$
Tetracloroeto de carbono	0,002 mg/L
Tetracloroeteno	0,01 mg/L
Tolueno	2,0 $\mu\text{g/L}$
Toxafeno	0,01 $\mu\text{g/L}$
2,4,5-TP	10,0 $\mu\text{g/L}$
Tributilestanho	0,063 $\mu\text{g/L TBT}$
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	0,02 mg/L
Tricloroeteno	0,03 mg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L
Trifluralina	0,2 $\mu\text{g/L}$
Xileno	300 $\mu\text{g/L}$

III - Nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso II deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:

TABELA II - CLASSE 1 - ÁGUAS DOCES	
PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,14 $\mu\text{g/L As}$
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Benzidina	0,0002 $\mu\text{g/L}$
Benzo(a)antraceno	0,018 $\mu\text{g/L}$
Benzo(a)pireno	0,018 $\mu\text{g/L}$
Benzo(b)fluoranteno	0,018 $\mu\text{g/L}$
Benzo(k)fluoranteno	0,018 $\mu\text{g/L}$
Criseno	0,018 $\mu\text{g/L}$
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 $\mu\text{g/L}$
3,3-Diclorobenzidina	0,028 $\mu\text{g/L}$
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 $\mu\text{g/L}$
Hexaclorobenzeno	0,00029 $\mu\text{g/L}$
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 $\mu\text{g/L}$
PCBs - Bifenilas policloradas	0,000064 $\mu\text{g/L}$
Pentaclorofenol	3,0 $\mu\text{g/L}$
Tetracloroeto de carbono	1,6 $\mu\text{g/L}$
Tetracloroeteno	3,3 $\mu\text{g/L}$
Toxafeno	0,00028 $\mu\text{g/L}$
2,4,6-triclorofenol	2,4 $\mu\text{g/L}$

Art 15. Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser

determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O₂;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O₂;

VII - clorofila *a*: até 30 µg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm³/L; e,

IX - fósforo total:

a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,

b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Art. 16. As águas doces de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) cianobactérias para dessedentação de animais: os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/ml, ou 5mm³/L;

i) DBO 5 dias a 20°C até 10 mg/L O₂;

j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O₂;

l) turbidez até 100 UNT;

m) cor verdadeira: até 75 mg Pt/L; e,

n) pH: 6,0 a 9,0.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA III - CLASSE 3 - ÁGUAS DOCES	
PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila <i>a</i>	60 µg/L
Densidade de cianobactérias	100.000 cel/mL ou 10 mm ³ /L

Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	0,2 mg/L Al
Arsênio total	0,033 mg/L As
Bário total	1,0 mg/L Ba
Berílio total	0,1 mg/L Be
Boro total	0,75 mg/L B
Cádmio total	0,01 mg/L Cd
Chumbo total	0,033 mg/L Pb
Cianeto livre	0,022 mg/L CN
Cloreto total	250 mg/L Cl
Cobalto total	0,2 mg/L Co
Cobre dissolvido	0,013 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	5,0 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total (ambiente lântico)	0,05 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,075 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,15 mg/L P
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,5 mg/L Mn
Mercúrio total	0,002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5
	5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0
	2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5
	1,0 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total	0,05 mg/L Ag
Selênio total	0,05 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado)	0,3 mg/L S
Urânio total	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	5 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + Dieldrin	0,03 µg/L
Atrazina	2 µg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Benzo(a)pireno	0,7 µg/L
Carbaril	70,0 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,3 µg/L
2,4-D	30,0 µg/L
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	1,0 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	14,0 µg/L
1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L
1,1-Dicloroetano	30 µg/L
Dodecacloro Pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endossulfan (α + β + sulfato)	0,22 µg/L
Endrin	0,2 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,01 mg/L C ₆ H ₅ OH
Glifosato	280 µg/L

Gution	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,03 µg/L
Lindano (γ-HCH)	2,0 µg/L
Malation	100,0 µg/L
Metoxicloro	20,0 µg/L
Paration	35,0 µg/L
PCBs - Bifenilas policloradas	0,001 µg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L LAS
2,4,5-T	2,0 µg/L
Tetracloroeto de carbono	0,003 mg/L
Tetracloroeteno	0,01 mg/L
Toxafeno	0,21 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	2,0 µg/L TBT
Tricloroeteno	0,03 mg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L

Art. 17. As águas doces de classe 4 observarão as seguintes condições e padrões:

I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

II - odor e aspecto: não objetáveis;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

V - fenóis totais (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de C₆H₅OH;

VI - OD, superior a 2,0 mg/L O₂ em qualquer amostra; e,

VII - pH: 6,0 a 9,0.

Seção III Das Águas Salinas

Art. 18. As águas salinas de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) materiais flutuantes virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;

e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para o cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana, a média geométrica da densidade de coliformes termotolerantes, de um mínimo de 15 amostras coletadas no mesmo local, não deverá exceder 43 por 100 mililitros, e o percentil 90% não deverá ultrapassar 88 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Esses índices deverão ser mantidos em monitoramento anual com um mínimo de 5 amostras. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada

em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) carbono orgânico total até 3 mg/L, como C;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂; e

j) pH: 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA IV - CLASSE 1 - ÁGUAS SALINAS	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	1,5 mg/L Al
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	1,0 mg/L Ba
Berílio total	5,3 µg/L Be
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,005 mg/L Cd
Chumbo total	0,01 mg/L Pb
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobre dissolvido	0,005 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo Total	0,062 mg/L P
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercúrio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	0,40 mg/L N
Nitrito	0,07 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,40 mg/L N
Polifosfatos (determinado pela diferença entre fósforo ácido hidrolisável total e fósforo reativo total)	0,031 mg/L P
Prata total	0,005 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfetos (H ₂ S não dissociado)	0,002 mg/L S
Tálio total	0,1 mg/L Tl
Urânio Total	0,5 mg/L U
Zinco total	0,09 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + Dieldrin	0,0019 µg/L
Benzeno	700 µg/L
Carbaril	0,32 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,004 µg/L
2,4-D	30,0 µg/L
DDT (p,p'-DDT+ p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,001 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dodecacloro pentaclodecano	0,001 µg/L
Endossulfan (α + β + sulfato)	0,01 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Etilbenzeno	25 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	60 µg/L C ₆ H ₅ OH
Gution	0,01 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,001 µg/L
Lindano (γ-HCH)	0,004 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L

Monoclorobenzeno	25 µg/L
Pentaclorofenol	7,9 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,03 µg/L
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	0,2 mg/L LAS
2,4,5-T	10,0 µg/L
Tolueno	215 µg/L
Toxafeno	0,0002 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	0,01 µg/L TBT
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	80 µg/L
Tricloroeteno	30,0 µg/L

III - Nas águas salinas onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso II deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:

TABELA V - CLASSE 1 - ÁGUAS SALINAS	
PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,14 µg/L As
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Benzeno	51 µg/L
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
2-Clorofenol	150 µg/L
2,4-Diclorofenol	290 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
1,2-Dicloroetano	37 µg/L
1,1-Dicloroeteno	3 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,000064 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
Tetracloroeteno	3,3 µg/L
2,4,6-Triclorofenol	2,4 µg/L

Art 19. Aplicam-se às águas salinas de classe 2 as condições e padrões de qualidade da classe 1, previstos no artigo anterior, à exceção dos seguintes:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 2500 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

c) carbono orgânico total: até 5,00 mg/L, como C; e

d) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5,0 mg/L O₂.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA VI - CLASSE 2 - ÁGUAS SALINAS	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,069 mg/L As
Cádmio total	0,04 mg/L Cd
Chumbo total	0,21 mg/L Pb
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total (combinado + livre)	19 µg/L Cl
Cobre dissolvido	7,8 µg/L Cu
Cromo total	1,1 mg/L Cr
Fósforo total	0,093 mg/L P
Mercurio total	1,8 µg/L Hg
Níquel	74 µg/L Ni
Nitrato	0,70 mg/L N
Nitrito	0,20 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,70 mg/L N
Polifosfatos (determinado pela diferença entre fósforo ácido hidrolisável total e fósforo reativo total)	0,0465 mg/L P
Selênio total	0,29 mg/L Se
Zinco total	0,12 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + Dieldrin	0,03 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,09 µg/L
DDT (p-p'DDT + p-p'DDE + p-p'DDD)	0,13 µg/L
Endrin	0,037 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,053 µg/L
Lindano (γ-HCH)	0,16 µg/L
Pentaclorofenol	13,0 µg/L
Toxafeno	0,210 µg/L
Tributilestanho	0,37 µg/L TBT

Art. 20. As águas salinas de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

II - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

III - substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;

IV - corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

V - resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

VI - coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

VII - carbono orgânico total: até 10 mg/L, como C;

VIII - OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/ L O₂; e

IX - pH: 6,5 a 8,5 não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades.

Seção IV

Das Águas Salobras

Art. 21. As águas salobras de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou

internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

- b) carbono orgânico total: até 3 mg/L, como C;
- c) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/ L O₂;
- d) pH: 6,5 a 8,5;
- e) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- f) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- g) substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- h) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes; e

i) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para o cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana, a média geométrica da densidade de coliformes termotolerantes, de um mínimo de 15 amostras coletadas no mesmo local, não deverá exceder 43 por 100 mililitros, e o percentil 90% não deverá ultrapassar 88 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Esses índices deverão ser mantidos em monitoramento anual com um mínimo de 5 amostras. Para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, bem como para a irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, não deverá ser excedido o valor de 200 coliformes termotolerantes por 100mL. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA VII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Arsênio total	0,01 mg/L As
Berílio total	5,3 µg/L Be
Boro	0,5 mg/L B
Cádmio total	0,005 mg/L Cd
Chumbo total	0,01 mg/L Pb
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl
Cobre dissolvido	0,005 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo total	0,124 mg/L P
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercúrio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	0,40 mg/L N
Nitrito	0,07 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,40 mg/L N
Polifosfatos (determinado pela diferença entre fósforo ácido hidrolisável total e fósforo reativo total)	0,062 mg/L P
Prata total	0,005 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfetos (como H ₂ S não dissociado)	0,002 mg/L S
Zinco total	0,09 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + dieldrin	0,0019 µg/L
Benzeno	700 µg/L

Carbaril	0,32 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,004 µg/L
2,4-D	10,0 µg/L
DDT (p,p'DDT+ p,p'DDE + p,p'DDD)	0,001 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L
Dodecacloro pentaciclodecano	0,001 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Endossulfan (α + β + sulfato)	0,01 µg/L
Etilbenzeno	25,0 µg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003 mg/L C ₆ H ₅ OH
Gution	0,01 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,001 µg/L
Lindano (γ-HCH)	0,004 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L
Monoclorobenzeno	25 µg/L
Paration	0,04 µg/L
Pentaclorofenol	7,9 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,03 µg/L
Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno	0,2 LAS
2,4,5-T	10,0 µg/L
Tolueno	215 µg/L
Toxafeno	0,0002 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L
Tributilestanho	0,010 µg/L TBT
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	80,0 µg/L

III - Nas águas salobras onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, além dos padrões estabelecidos no inciso II deste artigo, aplicam-se os seguintes padrões em substituição ou adicionalmente:

TABELA VIII - CLASSE 1 - ÁGUAS SALOBRAS	
PADRÕES PARA CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA PESCA OU CULTIVO DE ORGANISMOS PARA FINS DE CONSUMO INTENSIVO	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,14 µg/L As
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Benzeno	51 µg/L
Benzidina	0,0002 µg/L
Benzo(a)antraceno	0,018 µg/L
Benzo(a)pireno	0,018 µg/L
Benzo(b)fluoranteno	0,018 µg/L
Benzo(k)fluoranteno	0,018 µg/L
2-Clorofenol	150 µg/L
Criseno	0,018 µg/L
Dibenzo(a,h)antraceno	0,018 µg/L
2,4-Diclorofenol	290 µg/L
1,1-Dicloroeteno	3,0 µg/L
1,2-Dicloroetano	37,0 µg/L
3,3-Diclorobenzidina	0,028 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,000039 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,00029 µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,018 µg/L
Pentaclorofenol	3,0 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,000064 µg/L
Tetracloroeteno	3,3 µg/L
Tricloroeteno	30 µg/L

Art. 22. Aplicam-se às águas salobras de classe 2 as condições e padrões de qualidade da classe 1, previstos no artigo anterior, à exceção dos seguintes:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) carbono orgânico total: até 5,00 mg/L, como C;

c) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O₂; e

d) coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 2500 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

II - Padrões de qualidade de água:

TABELA IX - CLASSE 2 - ÁGUAS SALOBRAS	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,069 mg/L As
Cádmio total	0,04 mg/L Cd
Chumbo total	0,210 mg/L Pb
Cromo total	1,1 mg/L Cr
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total (combinado + livre)	19,0 µg/L Cl
Cobre dissolvido	7,8 µg/L Cu
Fósforo total	0,186 mg/L P
Mercúrio total	1,8 µg/L Hg
Níquel total	74,0 µg/L Ni
Nitrato	0,70 mg/L N
Nitrito	0,20 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,70 mg/L N
Polifosfatos (determinado pela diferença entre fósforo ácido hidrolisável total e fósforo reativo total)	0,093 mg/L P
Selênio total	0,29 mg/L Se
Zinco total	0,12 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Aldrin + Dieldrin	0,03 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,09 µg/L
DDT (p-p' DDT + p-p' DDE + p-p' DDD)	0,13 µg/L
Endrin	0,037 µg/L
Heptacloro epóxido+ Heptacloro	0,053 µg/L
Lindano (γ-HCH)	0,160 µg/L
Pentaclorofenol	13,0 µg/L
Toxafeno	0,210 µg/L
Tributilestanho	0,37 µg/L TBT

Art. 23. As águas salobras de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - pH: 5 a 9;

II - OD, em qualquer amostra, não inferior a 3 mg/L O₂;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - materiais flutuantes: virtualmente ausentes;

V - substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;

VI - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

VII - coliformes termotolerantes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente; e

VIII - carbono orgânico total até 10,0 mg/L, como C.

CAPÍTULO IV

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Art. 24. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento:

I - acrescentar outras condições e padrões, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica; e

II - exigir a melhor tecnologia disponível para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo curso de água superficial, mediante fundamentação técnica.

Art. 25. É vedado o lançamento e a autorização de lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos nesta Resolução.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, excepcionalmente, autorizar o lançamento de efluente acima das condições e padrões estabelecidos no art. 34, desta Resolução, desde que observados os seguintes requisitos:

I - comprovação de relevante interesse público, devidamente motivado;

II - atendimento ao enquadramento e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias;

III - realização de Estudo de Impacto Ambiental-EIA, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento;

IV - estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento; e

V - fixação de prazo máximo para o lançamento excepcional.

Art. 26. Os órgãos ambientais federal, estaduais e municipais, no âmbito de sua competência, deverão, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 34, desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas pelo enquadramento para o corpo de água.

§ 1º No caso de empreendimento de significativo impacto, o órgão ambiental competente exigirá, nos processos de licenciamento ou de sua renovação, a apresentação de estudo de capacidade de suporte de carga do corpo de água receptor.

§ 2º O estudo de capacidade de suporte deve considerar, no mínimo, a diferença entre os padrões estabelecidos pela classe e as concentrações existentes no trecho desde a montante, estimando a concentração após a zona de mistura.

§ 3º Sob pena de nulidade da licença expedida, o empreendedor, no processo de licenciamento, informará ao órgão ambiental as substâncias, entre aquelas previstas nesta Resolução para padrões de qualidade de água, que poderão estar contidas no seu efluente.

§ 4º O disposto no § 1º aplica-se também às substâncias não contempladas nesta Resolução, exceto se o empreendedor não tinha condições de saber de sua existência nos seus efluentes.

Art. 27. É vedado, nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs mencionados na Convenção de Estocolmo, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 7 de maio de 2004.

Parágrafo único. Nos processos onde possa ocorrer a formação de dioxinas e furanos deverá ser utilizada a melhor tecnologia disponível para a sua redução, até a completa eliminação.

Art. 28. Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

§ 1º As metas obrigatórias serão estabelecidas mediante parâmetros.

§ 2º Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias, os padrões de qualidade a serem obedecidos são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

§ 3º Na ausência de metas intermediárias progressivas obrigatórias, devem ser obedecidos os padrões de qualidade da classe em que o corpo receptor estiver enquadrado.

Art. 29. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas.

Art. 30. No controle das condições de lançamento, é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

Art. 31. Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes efluentes ou lançamentos individualizados, os limites constantes desta Resolução aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão ambiental competente.

Art. 32. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

§ 1º Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente:

I - atender às condições e padrões de lançamento de efluentes;

II - não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e

III - atender a outras exigências aplicáveis.

§ 2º No corpo de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final.

Art. 33. Na zona de mistura de efluentes, o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Art. 34. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

§ 3º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta Resolução não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

§ 4º Condições de lançamento de efluentes:

I - pH entre 5 a 9;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;

III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

V - óleos e graxas:

1 - óleos minerais: até 20mg/L;

2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L; e

VI - ausência de materiais flutuantes.

§ 5º Padrões de lançamento de efluentes:

TABELA X - LANÇAMENTO DE EFLUENTES	
PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L

Art. 35. Sem prejuízo do disposto no inciso I, do § 1º do art. 24, desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras consequências:

I - acarretar efeitos tóxicos agudos em organismos aquáticos; ou

II - inviabilizar o abastecimento das populações.

Art. 36. Além dos requisitos previstos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis, os efluentes provenientes de serviços de saúde e estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos, só poderão ser lançados após tratamento especial.

Art. 37. Para o lançamento de efluentes tratados no leito seco de corpos de água intermitentes, o órgão ambiental competente definirá, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos, condições especiais.

CAPÍTULO V

DIRETRIZES AMBIENTAIS PARA O ENQUADRAMENTO

Art. 38. O enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

§ 1º O enquadramento do corpo hídrico será definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos.

§ 2º Nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais.

§ 3º As ações de gestão referentes ao uso dos recursos hídricos, tais como a outorga e cobrança pelo uso da água, ou referentes à gestão ambiental, como o licenciamento, termos de ajustamento de conduta e o controle da poluição, deverão basear-se nas metas progressivas intermediárias e final aprovadas pelo órgão competente para a respectiva bacia hidrográfica ou corpo hídrico específico.

§ 4º As metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, deverão ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuados os casos de baías de águas salinas ou salobras, ou outros corpos hídricos onde não seja aplicável a vazão de referência, para os quais deverão ser elaborados estudos específicos sobre a dispersão e assimilação de poluentes no meio hídrico.

§ 5º Em corpos de água intermitentes ou com regime de vazão que apresente diferença sazonal significativa, as metas progressivas obrigatórias poderão variar ao longo do ano.

§ 6º Em corpos de água utilizados por populações para seu abastecimento, o enquadramento e o licenciamento ambiental de atividades a montante preservarão, obrigatoriamente, as condições de consumo.

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 39. Cabe aos órgãos ambientais competentes, quando necessário, definir os valores dos poluentes considerados virtualmente ausentes.

Art. 40. No caso de abastecimento para consumo humano, sem prejuízo do disposto nesta Resolução, deverão ser observadas, as normas específicas sobre qualidade da água e padrões de potabilidade.

Art. 41. Os métodos de coleta e de análises de águas são os especificados em normas técnicas cientificamente reconhecidas.

Art. 42. Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

Art. 43. Os empreendimentos e demais atividades poluidoras que, na data da publicação desta Resolução, tiverem Licença de Instalação ou de Operação, expedida e não impugnada, poderão a critério do órgão ambiental competente, ter prazo de até três anos, contados a partir de sua vigência, para se adequarem às condições e padrões novos ou mais rigorosos previstos nesta Resolução.

§ 1º O empreendedor apresentará ao órgão ambiental competente o cronograma das medidas necessárias ao cumprimento do disposto no *caput* deste artigo.

§ 2º O prazo previsto no *caput* deste artigo poderá, excepcional e tecnicamente motivado, ser prorrogado por até dois anos, por meio de Termo de Ajustamento de Conduta, ao qual se dará publicidade, enviando-se cópia ao Ministério Público.

§ 3º As instalações de tratamento existentes deverão ser mantidas em operação com a capacidade, condições de funcionamento e demais características para as quais foram aprovadas, até que se cumpram as disposições desta Resolução.

§ 4º O descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo será objeto de resolução específica, a ser publicada no prazo máximo de um ano, a contar da data de publicação desta Resolução, ressalvado o padrão de lançamento de óleos e graxas a ser o definido nos termos do art. 34, desta Resolução, até a edição de resolução específica.

Art. 44. O CONAMA, no prazo máximo de um ano, complementarará, onde couber, condições e padrões de lançamento de efluentes previstos nesta Resolução.

Art. 45. O não cumprimento ao disposto nesta Resolução acarretará aos infratores as sanções previstas pela legislação vigente.

§ 1º Os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, no âmbito de suas respectivas competências, fiscalizarão o cumprimento desta Resolução, bem como quando pertinente, a aplicação das penalidades administrativas previstas nas legislações específicas, sem prejuízo do sancionamento penal e da responsabilidade civil objetiva do poluidor.

§ 2º As exigências e deveres previstos nesta Resolução caracterizam obrigação de relevante interesse ambiental.

Art. 46. O responsável por fontes potencial ou efetivamente poluidoras das águas deve apresentar ao órgão ambiental competente, até o dia 31 de março de cada ano, declaração de carga poluidora, referente ao ano civil anterior, subscrita pelo administrador principal da empresa e pelo responsável técnico devidamente habilitado, acompanhada da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica.

§ 1º A declaração referida no *caput* deste artigo conterà, entre outros dados, a caracterização qualitativa e quantitativa de seus efluentes, baseada em amostragem representativa dos mesmos, o estado de manutenção dos equipamentos e dispositivos de controle da poluição.

§ 2º O órgão ambiental competente poderá estabelecer critérios e formas para apresentação da declaração mencionada no *caput* deste artigo, inclusive, dispensando-a se for o caso para empreendimentos de menor potencial poluidor.

Art. 47. Equiparam-se a perito, os responsáveis técnicos que elaborem estudos e pareceres apresentados aos órgãos ambientais.

Art. 48. O não cumprimento ao disposto nesta Resolução sujeitará os infratores, entre outras, às sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e respectiva regulamentação.

Art. 49. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 50. Revoga-se a Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986.

MARINA SILVA
Presidente do CONAMA

ANEXO E – DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO DAS CAMPANHAS

Foto 1 – Início da segunda coleta (18/06/2008)



Foto 2 – Coleta de amostra da coluna d'água (18/06/2008)



Foto 3 – Coleta de sedimento (18/06/2008)



Foto 4 – Medição de parâmetros em campo (05/12/2008)



Foto 5 – Draga de Petersen modificada utilizada na coleta de sedimento do lago Barigui (30/09/2008)



Foto 6 – Kombi e barco utilizado na coleta das amostras